

EVALUACIÓN GEOLÓGICA, CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA Y CÁLCULO  
DE RECURSO DE ROCA CALIZA PARA EL CONTRATO DE CONCESIÓN  
MINERA OG2-100 11 EN LA VEREDA LAS MONJAS DEL MUNICIPIO DE  
FIRAVITOBA.

GIOVANNY ANDREY MIRANDA CASTRO

CLAUDIA MILENA NIÑO FLOREZ

UNIVERSIDAD PEDAGOGICA Y TECNOLOGICA DE COLOMBIA

FACULTAD DE SOGAMOSO

INGENIERIA GEOLOGICA

SOGAMOSO

2016

EVALUACIÓN GEOLÓGICA, CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA Y CÁLCULO  
DE RECURSO DE ROCA CALIZA PARA EL CONTRATO DE CONCESIÓN  
MINERA OG2-100 11 EN LA VEREDA LAS MONJAS DEL MUNICIPIO DE  
FIRAVITOBA.

GIOVANNY ANDREY MIRANDA CASTRO  
CLAUDIA MILENA NIÑO FLOREZ

Modalidad:  
MOOGRAFIA

M.Sc. Wilson Enario Naranjo Merchan

UNIVERSIDAD PEDAGOGICA Y TECNOLOGICA DE COLOMBIA  
FACULTAD DE SOGAMOSO  
INGENIERIA GEOLOGICA  
SOGAMOSO  
2016

Nota de aceptación

---

---

---

---

---

---

---

Firma del Presidente del Jurado

---

Firma del Jurado

---

Firma del Jurado

Sogamoso, 28 de abril de 2014

***“Haz solo lo que amas y serás feliz. El que hace lo que ama, esta benditamente coronado al éxito, que llegará cuando deba de llegar, porque lo que debe ser, será y llegará naturalmente.” Facundo Cabral***

*Este proyecto va dedicado a Dios, por la sabiduría y disciplina entregadas para seguir este propósito*

*A mis padres Florentino Miranda y Patricia Castro por apoyarme en todos los momentos de gozo y dificultad*

*A mis hermanos Héctor Duván y Juan Esteban por siempre estar ahí motivándome durante todo mi paso en la universidad*

*A las Familias Miranda y Castro por confiar en mí y nunca dudar de mis competencias, a mi prima Astrid y su familia que fueron mi soporte en todos los aspectos en este camino de aprendizaje y experiencias*

*A la Familia Vargas Ladino por todos los favores recibidos motivo de gozo y gusto*

*A la familia Niño Flores por los favores recibidos de parte de ellos aportando enseñanzas humanas y sabias*

*A Milena por siempre estar con su disciplina, orden y profesionalismo característico que definió el proyecto desde el principio, sin ella no hubiese sido posible culminar con buenos resultados este proyecto*

*Al Ing. Víctor Manuel Ríos por darnos la oportunidad y confianza de este importante proyecto*

*A la empresa Central de Triturados por el apoyo económico, ilustrativo y profesional durante el proyecto*

*A mis amigos de la Universidad por todos los buenos y malos momentos que tuvimos que afrontar compartiendo cada instante en este paso al profesionalismo*

*A todos los profesores de la escuela de Ingeniería Geológica por sus conocimientos en cada una de sus áreas*

*Muchas gracias a todos, con la contribución de cada uno de Uds. este proyecto fue llevado a feliz término.*

**Giovanny Miranda**



*Mi tesis la dedico con todo mi amor y cariño.*

*A DIOS por permitirme estar aquí y haberme regalado una familia maravillosa.*

*A mis padres y hermano, quienes han sido la guía y el camino para poder llegar hasta este punto de mi carrera, que con su ejemplo, dedicación y palabras de aliento nunca bajaron los brazos para que yo tampoco lo hiciera aun cuando todo se complicaba. Gracias papá y mamá por darme una carrera para mi futuro y por creer en mí; Padre gracias por estar en los momentos importantes de mi vida, por ser el ejemplo para salir adelante, por los consejos que me han sido de gran ayuda y crecimiento. Esta tesis es el resultado de lo que me has enseñado en la vida, ya que siempre has sido una persona honesta, entregada a tu trabajo y un gran líder, pero más que todo eso una gran persona que siempre ha podido salir adelante y triunfar. Es por ello que hoy te dedico este trabajo de grado. Gracias por confiar en mí y darme la oportunidad de culminar esta etapa de mi vida; Madre por el gran amor y la devoción que tienes a tus hijos, por el apoyo ilimitado e incondicional que siempre me has dado, por haberme formado por el camino del bien, por ser la mujer que me dio la vida y me enseñó a vivirla... no hay palabras para agradecerte, linda.*

*A mi familia en especial a mi abuelita Leo, que con la sabiduría de Dios me ha enseñado a ser quien soy, gracias por tu paciencia, por tus consejos, por el amor que me has dado y por tu apoyo absoluto. Gracias por llevarme en tus oraciones porque estoy segura que siempre lo haces.*

*A Giova por que las cargas pesan menos cuando son llevadas entre dos, gracias por tu paciencia en el largo transcurso de este trabajo, por tu comprensión y tu apoyo, por tu dedicación y entrega.*

*A mis amigos por pasar a mi lado los momentos de mi vida universitaria y estar siempre en las buenas y en las malas.*

*Gracias a todos aquellos que no están aquí pero que me ayudaron a que este gran esfuerzo se volviera realidad.*

**Milena Niño**

## **Agradecimientos**

*Primeramente, a Dios por permitir concluir a feliz término el propósito de ser Ingeniero Geólogo, a las familias por ayudar moral y económicamente tal propósito; a los docentes por transmitir los conocimientos necesarios; a los diferentes profesionales que brindaron oportunidades de crecimiento intelectual como lo son: Dr. Ítalo Reyes Chitaro, Ing. Wilson Naranjo, Ing. Wilmar Calderón, Ing. Mario Torres, Ing. Rafael Espitia, Ing. Daniel Angulo, Ing. Laura Barrantes y al docente Germán Herrera; A la empresa Central de Triturados Ltda. a cargo del Ing. Víctor Manuel Ríos y su personal profesional Ing. Cesar Augusto López, Ing. Iván Raúl Ríos y su personal laboral; y a los amigos y compañeros de grandes logros académicos mil gracias.*

## CONTENIDO

1. GENERALIDADES .....	15
1.1. OBJETIVOS .....	15
1.1.1. OBJETIVO GENERAL .....	15
1.1.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS .....	15
1.2. DESARROLLO DEL PROYECTO METODOLOGIA .....	16
1.3. LOCALIZACION GEOGRAFICA .....	18
1.4. RASGOS FISIOGRAFICOS.....	23
1.4.1. TOPOGRAFIA.....	23
1.4.2. CLIMA .....	25
1.4.3. HIDROGRAFIA .....	25
1.5. GEOMORGOLOGIA .....	26
2. GEOLOGIA .....	28
2.1. GEOLOGIA REGIONAL .....	28
2.1.1. ESTRATIGRAFIA .....	28
2.2. GEOLOGIA LOCAL .....	31
2.2.1. ESTRATIGRAFICA LOCAL .....	34
Formación Tibasosa miembro calcáreo superior(K <sub>1b3t</sub> ) .....	34
BANCO E .....	42
BANCO D .....	44
BANCO B .....	46
Formación Une (K <sub>1u</sub> ) .....	48
2.3. GEOLOGIA ESTRUCTURAL .....	51
3. MODELO GEOLOGICO DE LA ZONA DE ESTUDIO .....	56
3.1. DESCRIPCION DE MUESTRAS .....	58
3.2. ANALISIS QUIMICO .....	63
3.3. ANALISIS GEOESTADISTICO .....	64
4. CALCULO DE RECURSOS .....	67
5. CARACTERIZACION GEOMECANICA .....	71

ALCANCE Y LIMITACIONES .....	75
CONCLUSIONES .....	76
RECOMENDACIONES .....	78
BIBLIOGRAFIA .....	79



## LISTA DE FOTOGRAFIAS

Fotografía 1: Vista del valle de Iraka desde el área de estudio	23
Fotografía 2: Vías de acceso a la zona.	24
Fotografía 3: Valle fluviolacustre,	28
Fotografía 5: Explotaciones mineras de caliza	34
Fotografía 6: Corte estratigráfico de la Formación Belencito, en la mina de Central de Triturados	36
Fotografía 7: Afloramiento del miembro inferior	38
Fotografía 7: Afloramiento del banco E	44
Fotografía 8: Afloramiento del banco D	46
Fotografía 9: Afloramiento del banco B	48
Fotografía 10: Afloramiento de Formación Une	50
Fotografía 11: Deposito fluviolacustre, desde mina Argos	51
Fotografía 12: Deposito fluviolacustre del valle de Iraka	51
Fotografía 13: Sección de un cuaternario coluvial	52
Fotografía 14: Fenómeno de remoción en masa	52
Fotografía 15: Traza de la falla de Boquerón	55
Fotografía 16: Traza de falla El cajón	56

## LISTA DE IMÁGENES

Imagen 1: Coordenadas del área de estudio.....	12
Imagen 2: Localización de la área de estudio.....	12
Imagen 3: Vista del área de contrato de concesión minero OG2-10011.....	13
Imagen 4: Vista en 3D de la zona donde se resalta el cambio de topografía.....	15
Imagen 5: Histograma valores totales mensuales de precipitación.....	16
Imagen 6: Anáglifo generado por las fotografías aéreas 99 y 100 vuelo C 2581.....	22
Imagen 7: Imagen satelital Landsat 7 RGB 321.....	22
Imagen 8: Método de los perfiles.....	36

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1: .....	41
Tabla 2: .....	46
Tabla 3: .....	49



## LISTA DE ANEXOS

Anexo 1: Plano topográfico de la concesión

Anexo 2: Mapa geológico local

Anexo 3: Cortes geológicos

Anexo 4: Columna estratigráfica Banco B

Anexo 5: Columnas de perforaciones

## **RESUMEN**

El sector las monjas del municipio de Firavitoba consta de unidades geológicas con contenidos de carbonatos de calcio hasta del 97% debido a los ambientes de depósito que se dieron en estas formaciones rocosas, siendo de gran uso para la producción cementera, industria que avanza dado el crecimiento que muestra el mercado interno por el incremento de las obras de infraestructura y vivienda, por tanto es trascendental la exploración de nuevas zonas donde se manifieste la roca caliza; principal aditivo en la fabricación de este, por tanto, la demanda de este agregado es alta.

En el área afloran rocas del Cretáceo Inferior a Medio, en donde son vitales para la producción de cemento los carbonatos, el miembro calcáreo superior de la Formación Tibasosa llamada a nivel local Formación Belencito tiene 10 bancos de caliza biomicriticas que se explotan en toda la región para diversos fines, los bancos D y E son el eje central de este estudio debido al requerimiento dado por la empresa Central de Triturados LTDA ya que tienen porcentajes de  $\text{CaCO}_3$  entre 86 y 93%, esta empresa desarrollo trabajos de exploración en la concesión minera OG2-10011 para calcular volúmenes de caliza necesarios para la apertura de la planta “Cementos Nacionales” en el sector de Sogamoso, no obstante en este proyecto también se evaluaron los bancos B, F, G, H e I puesto que son explotables para otros fines económicos, todo lo anterior partiendo de evaluaciones geológicas y de calidad.

Se juntaron conocimientos en geología, estratigrafía, petrografía, estratimetría y tectónica, los cuales fueron vitales para caracterizar los bancos de caliza, su comportamiento geológico, composición mineralógica, espesor y composición química, con metodologías indicadas para el tipo de yacimiento, área y complejidad.

## INTRODUCCIÓN

Las calizas encontradas en las formaciones del cretáceo inferior de la cordillera Oriental son usadas en industrias siderúrgicas, cementeras y triturados, debido a su composición química, por tal razón se da importancia en buscar áreas que posean un potencial para explorar y explotar en un futuro este importante recurso mineral industrial.

El área de contrato de concesión minera OG2-10011, partiendo de la necesidad de tener un conocimiento más profundo de la geología estructural de los bancos cementeros presentes en esta zona para evaluar si es factible la explotación en este sector, se identificó y evaluó de manera detallada el recurso, proporcionando la cartografía geológica a una escala apropiada, la información cualitativa a lo largo del recurso, la cuantificación de los volúmenes, así como las propiedades geomecánicas del macizo rocoso, todo esto con el fin de proporcionar un conocimiento acertado para llevar a cabo los proyectos mineros a realizar contribuyendo con el desarrollo minero de la región.

Este proyecto se concluyó con la dedicación de los autores y la resolución de profesionales de la UPTC y de Central de triturados que ofrecieron un aporte para resolver dilemas que se tuvieron en la realización del proyecto.

## **1. GENERALIDADES**

### **1.1. OBJETIVOS**

#### **1.1.1. OBJETIVO GENERAL**

Desarrollar la evaluación geológica, caracterización geomecánica y cálculo de recurso de la roca caliza en el sector Las Monjas del municipio de Firavitoba para el contrato de concesión minera OG2-10011.

#### **1.1.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS**

Recopilar y analizar información secundaria existente en la zona de estudio.

Generar la cartografía geológica del área a una escala de 1:5000.

Elaborar el modelo geológico estructural de la zona.

Caracterizar geomecanicamente los bancos de interés de la zona de estudio.

Realizar el cálculo de recurso para los bancos de interés de la zona de estudio.

## 1.2. DESARROLLO DE PROYECTO - METODOLOGIA

<b>ETAPA 1</b>	<p><b>Recopilación y análisis de información secundaria existente en la zona de estudio.</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Asesoría con el director del proyecto y con la empresa a cargo.</li> <li>• Consultar información acerca del material teórico relacionado con el proyecto.</li> <li>• Examinar proyectos previos afines con la zona y/o tema.</li> <li>• Buscar imágenes satelitales y/o fotografías aéreas y planchas topográficas del área.</li> <li>• Interpretar material derivado de las consultas.</li> <li>• Revisión del objetivo cumplido con el director del proyecto y con la empresa a cargo.</li> </ul>
<b>ETAPA 2</b>	<p><b>Generación de la cartografía geológica del área a una escala de 1:5000.</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Asesoría con el director del proyecto y con la empresa a cargo.</li> <li>• Realizar visita a campo.</li> <li>• Interpretar datos obtenidos en la visita a campo.</li> <li>• Digitalizar la interpretación resultante de las diferentes visitas a campo apoyándonos de SIG.</li> <li>• Distinguir las zonas adecuadas para la traza de perfiles geológicos que nos den distribución de las unidades geológicas en el subsuelo y elaborarlos.</li> <li>• Revisión del objetivo cumplido con el director del proyecto y con la empresa a cargo.</li> </ul>
<b>ETAPA 3</b>	<p><b>Elaboración del modelo geológico estructural de la zona.</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Asesoría con el director del proyecto y con la empresa a cargo.</li> <li>• Indicar lugar de perforación en las zonas de mayor incertidumbre respecto de la visita a campo.</li> <li>• Realizar la descripción litológica y geotécnica de los núcleos de roca obtenidos de las perforaciones.</li> <li>• Levantar columnas litoestratigráficas a escala 1:100 de los bancos no perforados (Banco B) y realizar columnas a partir del logeo de cada perforación (Pozo 7, 8, 10 y 11) a escala 1:100.</li> <li>• Construir mapa de contornos que muestren una interpretación adecuada de la estructura del subsuelo.</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identificación de los bancos existentes en el área.</li> <li>• Revisión del objetivo cumplido con el director del proyecto y con la empresa a cargo.</li> </ul>
<b>ETAPA 4</b>	<p><b>Realizar el cálculo de recurso para los bancos de interés de la zona de estudio.</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Muestreo de las perforaciones para análisis químico de los bancos de interés.</li> <li>• Realizar análisis químico (fluorescencia por rayos x).</li> <li>• Elaborar una relación del método de evaluación tradicional y el geoestadístico.</li> <li>• Seleccionar las áreas de interés (Localización de bancos cementeros) y separarlas de áreas de no interés (Localización de bancos No cementeros).</li> <li>• Categorización de los recursos en: Medidos, Indicados e Inferidos.</li> </ul>
<b>ETAPA 5</b>	<p><b>Determinar características geomecánicas para los bancos de interés de la zona de estudio.</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Realizar muestreo de roca de los bancos de interés del proyecto (Banco B, D y E) en afloramientos para ensayos de laboratorio (Propiedades físicas, compresión simple, desgaste y durabilidad).</li> <li>• Identificar cada uno de los parámetros (Diaclazamiento, infiltración, relleno y resistividad) para la clasificación de macizo rocoso.</li> <li>• Determinar la clasificación geomecánicas del macizo rocoso y un valor de calidad.</li> </ul>

### 1.3. LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA

La zona de estudio se encuentra ubicada en la vereda Las Monjas del municipio de Firavitoba perteneciente al departamento de Boyacá, Colombia; a una distancia aproximada de 2 Km. al Noreste (NE) del casco urbano de Firavitoba y a 5 Km al Suroeste (SW) de la ciudad de Sogamoso, encontrándose a una Cota promedio de 2600 m.s.n.m y comprende una extensión superficial de 159 hectáreas y 84 m<sup>2</sup>.

La zona se delimita por la poligonal descrita así:

*Tabla 1: Coordenadas del área de estudio*

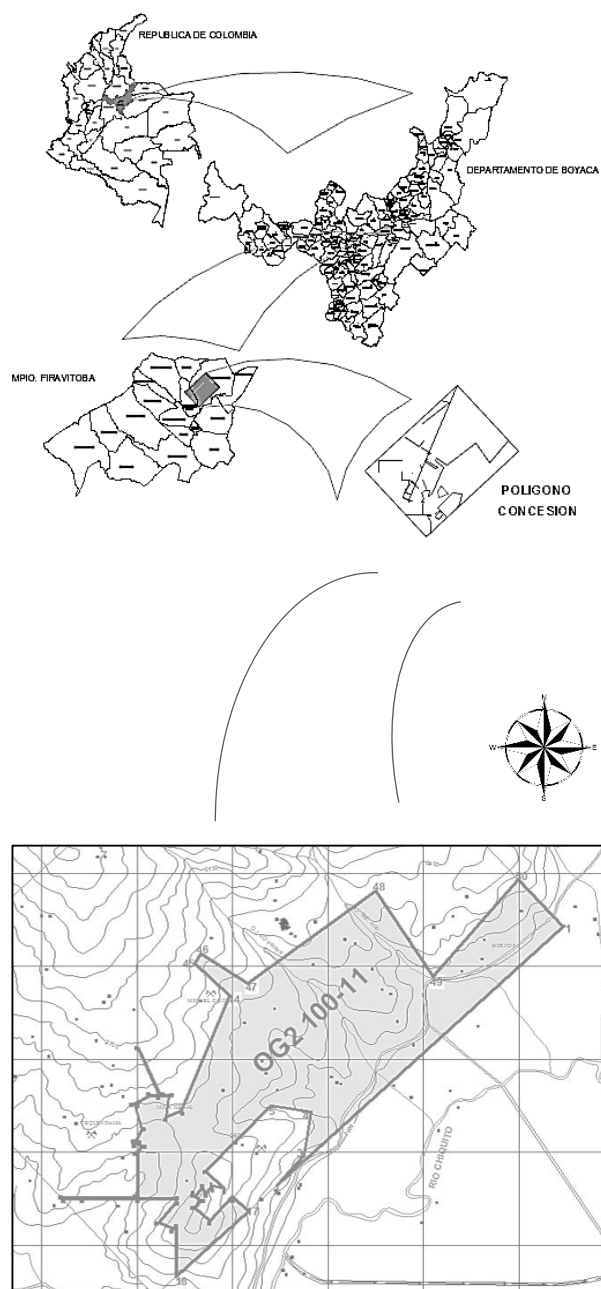
<b>PUNTO</b>	<b>NORTE</b>	<b>ESTE</b>	<b>RUMBO</b>	<b>DISTANCIA [m]</b>
PA – 1	1123738.0	1120816.0	S 42°49' 11.49° E	2081.82
1 – 2	1122211.0	1122231.0	S 47° 9' 58.76" W	2045.27
2 - 3	1120820.5	1120731.1	N 42° 2' 38.37" E	214.81
3 - 4	1120980.0	1120875.0	N 8° 30' 22.96" E	240.6
4 - 5	1121218.0	1120910.6	N 81° 18' 27.37" W	212.02
5 - 6	1121250.0	1120701.0	S 44° 17' 18.93" W	493.82
6 - 7	1120896.5	1120356.2	S 46° 13' 20.97" E	138.17
7 - 8	1120800.9	1120455.9	N 72° 59' 27.75" W	72.1
8 - 9	1120822.0	1120387.0	S 7° 7' 12.6" W	16.13
9 - 10	1120806.0	1120385.0	S 40° 55' 3.03" W	39.7
10 - 11	1120776.0	1120359.0	N 25° 11' 56.74" W	37.58
11 - 12	1120810.0	1120343.0	S 42° 27' 14.33" W	63.7
12 - 13	1120763.0	1120300.0	S 52° 35' 55.12" E	42.8
13 - 14	1120737.0	1120334.0	S 43° 18' 55.31" W	48.11
14 - 15	1120702.0	1120301.0	S 47° 37' 10.0" E	108.3
15 - 16	1120629.0	1120381.0	N 42° 14' 32.25" E	176.04
16 - 17	1120759.3	1120499.3	S 46° 13' 20.09" E	112.94
17 - 18	1120681.2	1120580.9	S 47° 9' 58.68" W	519.4

18 - 19	1120328.0	1120200.0	N 0° 0' 0.0" E	264.95
19 - 20	1120593.0	1120200.0	S 41° 11' 9.33" W	10.63
20 - 21	1120585.0	1120193.0	N 67° 28' 42.03" W	88.77
21 - 22	1120619.0	1120111.0	N 39° 13' 54.25" E	140.72
22 - 23	1120728.0	1120200.0	N 2° 43' 34.71" W	21.02
23 - 24	1120749.0	1120199.0	N 90° 0' 0.0" W	200.0
24 - 25	1120749.0	1119999.0	N 90° 0' 0.0" W	300.0
25 - 26	1120749.0	1119699.0	N 90° 0' 0.0" W	91.71
26 - 27	1120749.0	1119607.3	N 42° 49' 41.75" W	1.359
27 - 28	1120750.0	1119606.4	N 90° 0' 0.0" E	393.64
28 - 29	1120750.0	1120000.0	N 0° 0' 0.0" E	243.43
29 - 30	1120993.4	1120000.0	N 31° 53' 26.42" E	45.43
30 - 31	1121032.0	1120024.0	N 79° 35' 32.06" W	24.4
31 - 32	1121036.4	1120000.0	N 0° 0' 0.0" E	13.59
32 - 33	1121050.0	1120000.0	N 90° 0' 0.0" W	7.0
33 - 34	1121050.0	1119993.0	N 23° 23' 4.13" E	80.62
34 - 35	1121124.0	1120025.0	N 16° 53' 32.47" W	140.79
35 - 36	1121258.7	1119984.1	N 72° 28' 27.95" E	0.96
36 - 37	1121259.0	1119985.0	N 60° 10' 18.93" E	86.45
37 - 38	1121302.0	1120060.0	S 88° 59' 41.69" E	57.01
38 - 39	1121301.0	1120117.0	N 23° 26' 26.47" W	279.03
39 - 40	1121557.0	1120006.0	S 24° 11' 25.16" E	280.64
40 - 41	1121301.0	1120121.0	N 90° 0' 0.0" E	46.0
41 - 42	1121301.0	1120167.0	S 7° 55' 13.14" W	116.11
42 - 43	1121186.0	1120151.0	N 66° 2' 17.87" E	88.64
43 - 44	1121222.0	1120232.0	N 22° 9' 5.34" E	668.33
44 - 45	1121841.0	1120484.0	N 46° 27' 44.19" W	253.76
45 - 46	1122015.8	1120300.0	N 33° 50' 43.19" E	61.72
46 - 47	1122067.0	1120334.4	S 56° 47' 55.05" E	292.3
47 - 48	1121907.0	1120579.0	N 53° 22' 38.3" E	834.81
48 - 49	1122405.0	1121249.0	S 33° 18' 55.18" E	551.66
49 - 50	1121944.0	1121552.0	N 40° 33' 30.62" E	684.09
50 - 1	1122463.7	1121996.8	S 42° 49' 11.32" E	344.55

**Fuente: Autores.**

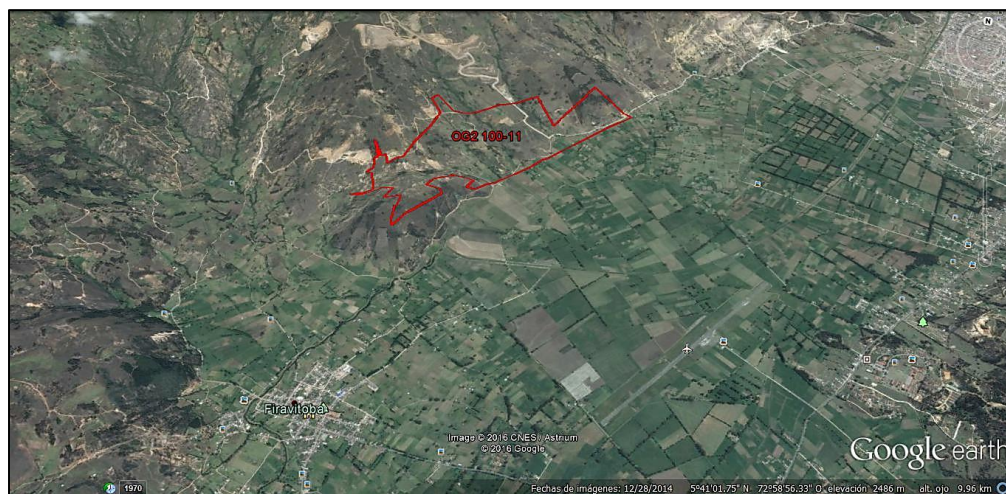


***Imagen 1: Localización del área de estudio***



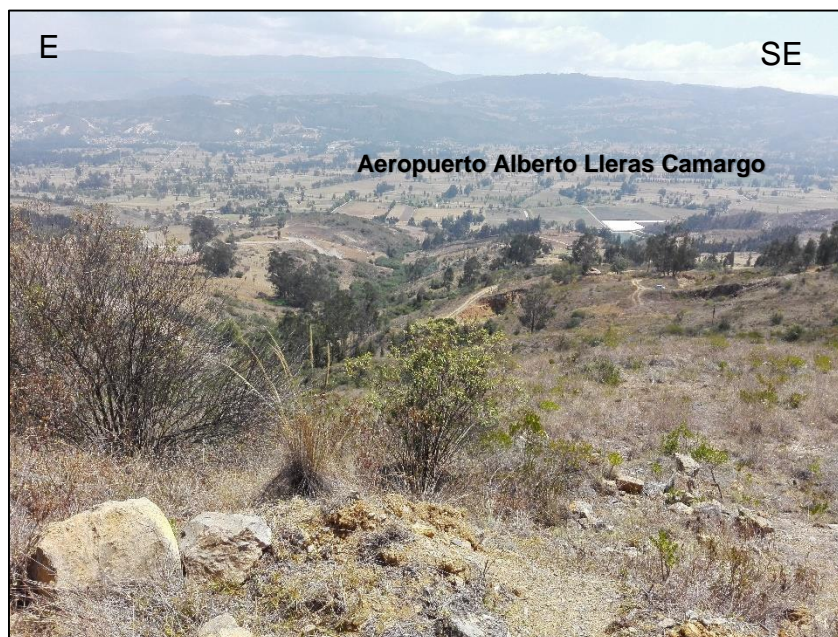
**Fuente: Autores.**

**Imagen 2: Vista del área del contrato de concesión minero OG2 10011, donde se evidencia la relación geográfica con los municipios de Sogamoso y Firavitoba**



**Fuente: Google Earth.**

**Fotografía 1: Vista al valle desde el área de estudio**



**Fuente: Autores.**

## **VIAS DE ACCESO**

El acceso a la zona de estudio se realiza por dos sectores, el primero desde la vía que de Sogamoso conduce al Municipio de Tibasosa por la vereda las Monjas

tomando una serie de desvíos por el margen derecho hasta la zona de estudio, el segundo acceso se realiza por el Municipio de Firavitoba partiendo del parque principal hacia el costado derecho por vía no pavimentada con un recorrido aproximado de 3 Km hasta llegar al área de estudio.

Las vías de acceso del polígono de exploración son de tipo secundario unido por una vía primaria, la cual comunica el municipio de Sogamoso y Firavitoba pavimentada hasta cierto tramo, es de relevancia por ser una zona de explotación de caliza desde el siglo pasado, cuenta con una serie de caminos que comunican antiguas canteras y con la vía principal.

El acceso hasta la zona de estudio se puede realizar con un tiempo de recorrido de 20 minutos, partiendo desde el puente de Rio Chiquito.

**Fotografía 2: Vías de acceso a la zona, donde se puede ingresar por vías desde los municipios de Firavitoba, Sogamoso y Tibasosa.**



**Fuente: Street View Google Earth.**



**Fuente: Autores.**

## **1.4. RASGOS FISIAGRÁFICOS**

La fisiografía de la zona cuenta con un paisaje montañoso estructural siendo el flanco de una de las superficies del valle de Sogamoso, con unidades del relieve



que involucran el modelado generado por la intensa minería del sector, pequeños bosques de vegetación nativa autóctona, suelos arcillosos y potentes acuíferos.

## TOPOGRAFÍA

El área de estudio presenta una topografía quebrada y abrupta, con cotas que van desde los 2500 m.s.n.m. hasta 2850 m.s.n.m.; de acuerdo al levantamiento topográfico realizado dentro de la plancha del IGAC del P.A 171 IV-D-4 y 172-III-C-3, el levantamiento topográfico se describe con curvas de nivel cada 2 m.

El levantamiento topográfico se elaboró en las 159 hectáreas y 84 m<sup>2</sup> con una comisión topográfica utilizando todos sus equipos debidamente calibrados y revisados, cumpliendo la normatividad de seguridad industrial. Los equipos empleados fueron: Estación total MARCA FOIL, con todos sus aditamentos como trípode, bastones, prismas en donde se entregó el estudio en coordenadas reales del IGAC utilizando tecnología de GPS de precisión marca LEICA PGS1200+ para el amarre del estudio, ver anexo N°1.

*Imagen 3: Perspectiva en proyección 3D de la zona, donde es evidente el cambio de topografía*

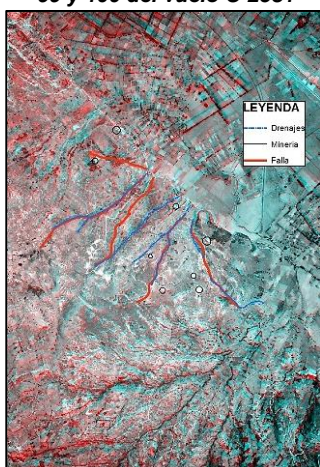


*Fuente: Simulación de vuelo Google Earth.*

El relieve del área se caracteriza por presentar pendientes que oscilan entre 25° a 45° observándose un relieve suave, cabe resaltar que en ciertas zonas por procesos antrópicos (el hombre) se ha ocasionado un modelamiento de la morfología de forma abrupta, producto de la implementación de técnicas inadecuadas e indiscriminadas en la explotación del yacimiento.

A través del IGAC se obtuvieron las fotografías aéreas 99-100-101 del vuelo C-2581 y se obtuvo una imagen satelital Landsat 7 con las cuales se trabajó la parte de interpretación superficial de la zona como lo son drenajes principales, fallas, cambios geomorfológicos, cambios de vegetación y zonas que indican posibles afloramientos lo cual guio el trabajo de campo. A continuación, se mostrará la interpretación hecha en las fotografías aéreas.

**Imagen 4: Anáglifo generado con las fotografías aéreas 99 y 100 del vuelo C-2581**



**Fuente: Autores**

**Imagen 5: Imagen satelital LANDSAT 7 RGB 321 Verdadero Color, febrero del 2007**



**Fuente: Autores**

Se realizó un procesamiento de imágenes que permitió una mejor interpretación de la zona; obteniendo notorios afloramientos dados por labores mineras, un patrón de drenaje detrítico dado por el relieve presente, zonas escarpadas con un grado de erosión significativo, se observó cambio morfológico debido a variaciones litológicas, cambios de buzamiento de las capas y se evidencia posibles desplazamientos en el terreno los cuales se asocian a el sistema de fallas de la falla de Soapaga.

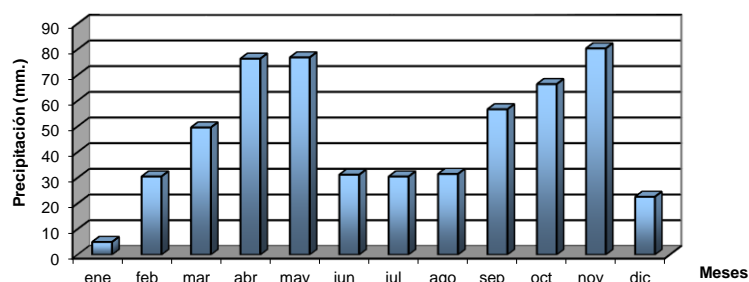
#### **1.4.1. CLIMA**

El comportamiento de la precipitación a través del año es de tipo bimodal, es decir, presenta dos periodos de invierno bien marcados, separados por dos de estiaje. Del total precipitado, que se considera del orden de los 787 mm, el 35.5% (1.396 mm)

se registra en el primer período lluvioso, el cual ocurre entre los meses de marzo a mayo, en tanto que el 34.8% (1.370 mm) del total de lluvias anuales, se presenta en el segundo período de invierno de septiembre a noviembre, quedando un 29.7% (1.169 mm) distribuido en los períodos de estiaje, los cuales corresponden a los trimestres comprendidos entre diciembre y febrero y de junio a agosto.<sup>1</sup>

Sobresalen los meses de abril y octubre como los más lluviosos, con valores promedios multianuales que sobrepasan los 130 mm precipitados en un solo mes.

**Imagen 6: Histograma valores totales mensuales de precipitación, estación Iza.**



**Fuente: EOT del municipio de Firavitoba.**

## 1.4.2. HIDROGRAFIA

La zona de estudio hace parte de la gran cuenca del río Magdalena, la cual integra como una de sus principales unidades la cuenca del río Chicamocha, dentro de estas se encuentran dos cuencas ubicadas en el territorio municipal: La del río Chiquito y la del río Salitre.<sup>1</sup>

El drenaje en general, posee una distribución dendrítica, localmente se presenta la quebrada La Duranera y la quebrada San Juan las cuales pertenecen a la cuenca del río Chiquito y tiene flujo en dirección SE siendo de carácter temporal. En la zona del proyecto se encuentran cauces naturales y aljibes.

## 1.5. GEOMORFOLOGÍA

<sup>1</sup> Esquema de Ordenamiento Territorial, municipio de Firavitoba 2012

La geomorfología es la ciencia que estudia el modelado terrestre, su génesis y dinámica en relación con las características geológicas, climáticas, bióticas y su interrelación a través del tiempo.<sup>1</sup> Es importante para el conocimiento de una región si se desea planificar su desarrollo y explotar técnicamente sus recursos, conservando el equilibrio de los ecosistemas. Los factores de la morfogénesis, responsable de la estabilidad o inestabilidad de los paisajes, tipos y formas del relieve. Los mapas geomorfológicos y de suelos constituyen herramientas esenciales para diagnosticar el uso y manejo de los suelos y explotar correctamente los recursos naturales.

- Valle amplio intramontano – fluviolacustre

**Planicie:** Corresponde a la parte plana del municipio vereda Diravita Llano y al costado de la vía que comunica el municipio de Firavitoba y Sogamoso por la vereda Las Monjas. Es una fracción pequeña del gran depósito fluviolacustre que se encuentra en esta parte del departamento, su origen es lacustre, pero la actividad fluvial del neógeno ha impreso caracteres claramente fluviales, de hecho, brazos muertos, meandros abandonados y cubetas de inundación son algunas de las formas que se pueden citar, luego de la construcción del canal de riego la dinámica se truncó, y ocasionalmente por fuertes aguaceros se inundan antiguas cubetas.

*Fotografía 3: Valle fluviolacustre, sobre este paisaje se desarrolla la mayor parte de las actividades productivas del municipio de Firavitoba y se ubica en el sur del polígono*



*Fuente: Autores.*

<sup>1</sup> Formulación del Plan de Ordenamiento y Manejo Ambiental de la Cuenca Alta del Rio Chicamocha

- Montañoso Estructural Erosional



**Vertientes Estructurales Cársticas:** Corresponde al sector de explotación minera de la roca caliza de la Formación Tibasosa miembro calcáreo superior (K<sub>1b3t</sub>). Se localiza en las veredas Las Monjas, Diravita Llano, y está conformado por las siguientes formas del terreno: derrubios o escombros que se forman cuando se explotan las minas. En las explotaciones mineras se utiliza el mineral aprovechable, pero el resto del material que acompaña al mineral y no es útil se deja acumulado cerca de las galerías o explotaciones mineras en forma de derrubios; laderas, definidas como porciones inclinadas de la superficie terrestre que delimita formas positivas y negativas, estas pueden ser: rectas verticales: la parte superior empinada y la inferior suave con una base de débil expresión, convexas: la parte superior suave incrementándose la pendiente hacia la base, escalonada.- en su perfil se presentan varias rupturas de pendiente que forman varios escalones; y por dolinas o depresiones redondas u ovaladas, de tipo embudiforme, más ancha que profunda y sin desagüe visible, originada sobre rocas calcáreas por los fenómenos cársticos.

**Fotografía 4:** Unidad geomorfológica montañoso estructural erosional, donde se encuentra un anticlinal volcado erosionado con sus respectivos buzamientos en la imagen.



**Fuente:** Autores.

## 2. GEOLOGIA

La zona de estudio está comprendida dentro de las planchas geográficas del INSTITUTO GEOGRAFICO AGUSTIN CODAZZI 171 IV-D-4 y 172 III-C-3, cuya información geológica se encuentra recopilada por estudios hechos por:

RENZONI, Giancarlo. Geología del cuadrángulo J12 Tunja. 1968.

RENZONI Y ROSAS. Estudio de las calizas en el departamento de Boyacá. 1981.

REYES, Ítalo. Geología de la región Sogamoso-Duitama -Paz del Río. 1984.

Donde afloran rocas de las formaciones Tibasosa ( $K_{1t}$ ) y la formación Une ( $K_{1U}$ ) pertenecientes al Cretáceo inferior y medio, la formación Tibasosa cuenta con un miembro calcáreo superior localmente llamado formación Belencito ( $K_{1b3t}$ ) (esta no está definida ante el servicio geológico colombiano (SGC) como formación, aunque cumple con todos los estándares para serlo) con un espesor aproximado de 460 metros, con series calcáreas referentes a ambientes de depósito marino. La Formación Tibasosa miembro calcáreo superior es la de interés del proyecto.

## 2.1. GEOLOGIA REGIONAL

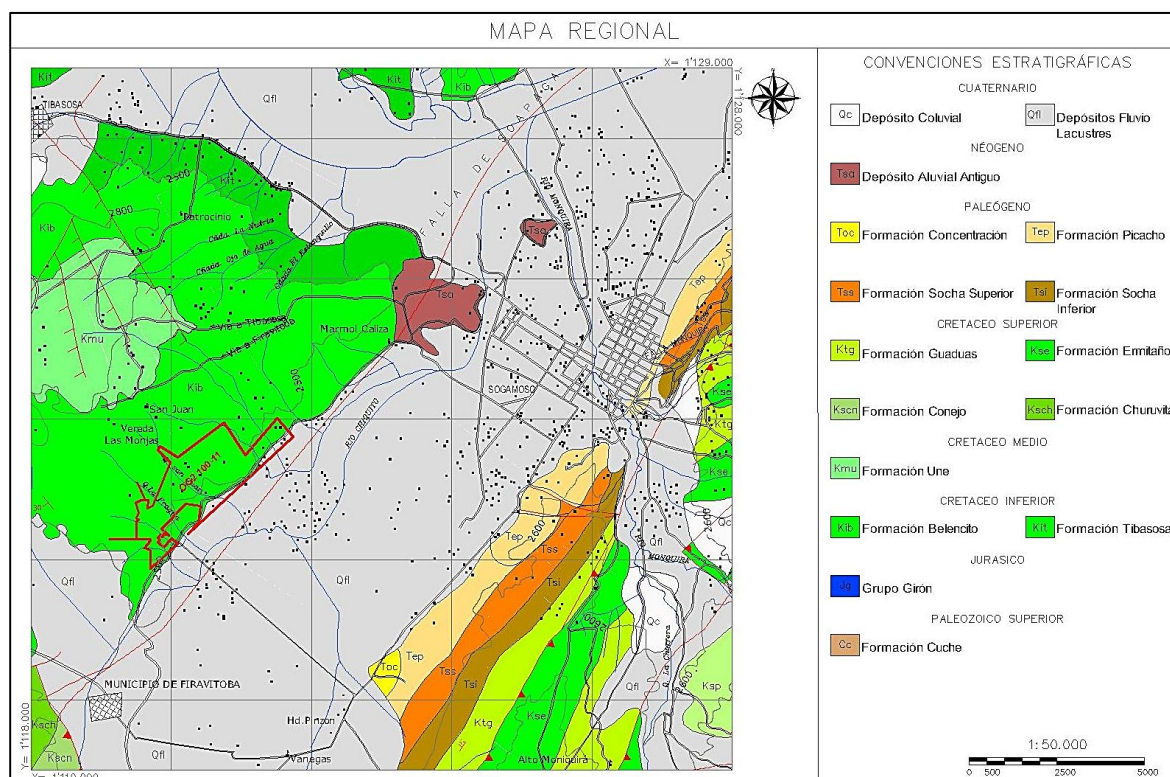
En el flanco occidental del valle de Sogamoso afloran rocas en donde la descripción de las unidades se hizo con base en columnas litoestratigráficas levantadas durante el proyecto. El sector oriental del departamento de Boyacá se caracteriza geológicamente por la presencia de dos provincias tectónicas separadas por la falla de Soapaga “El macizo de Floresta”, que corresponde a una zona compleja levantada y la “Cobertura Plegada”, formada por la serie sedimentaria Neo cretácico en donde se desarrolló el proyecto, con zonas de carbonatos plegados y fallados debido a esfuerzos de la región.

### 2.1.1. ESTRATIGRAFÍA

**Formación Tibasosa ( $K_{1t}$ ):** El nombre y el rango de la unidad litoestratigráfica fue propuestos por Renzoni (1981), para representar la sucesión litológica que aflora en la población de Tibasosa, que infrayace de la Formación Une. El autor dividió la formación en cuatro miembros, los cuales fueron denominados de base a techo como:

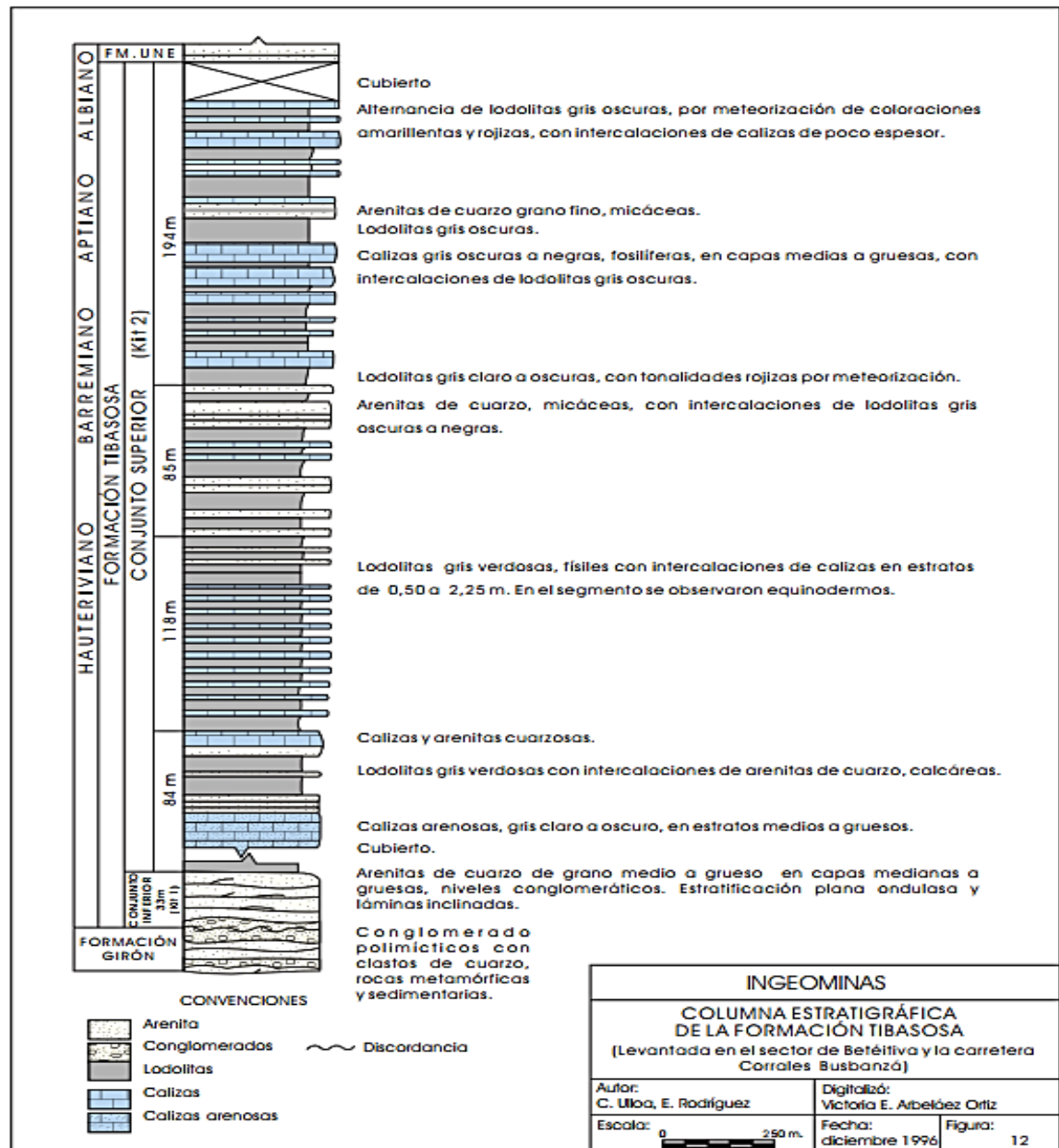
Miembro Basal, compuesto por conglomerado, limolitas y areniscas, a veces conglomeráticas; Miembro Calcáreo Inferior, constituido principalmente por shales, calizas arenosas y areniscas; Miembro Arenáceo Intermedio, compuesto por shales y areniscas, y el Miembro Calcáreo Superior, formado por shales, caliza lumaquélica y areniscas.

**Imagen 7: Geología Regional del valle de Sogamoso, el polígono de estudio se sitúa sobre toda la Formación Belencito (Kib) en un mapa a escala 1:50.000**



**Fuente: Autores.**

**Imagen 8: Columna estratigráfica de la formación Tibasosa**



**Fuente: Geología del cuadrángulo J12 Tunja. 1968 RENZONI, Giancarlo.**

**Formación Belencito:** Corresponde a los estratos del “miembro calcáreo superior” de la Formación Tibasosa. (RENZONI, Giancarlo. Geología del cuadrángulo J12 Tunja. 1968) y denominada Formación Belencito (REYES, Ítalo. Geología de la región Sogamoso-Duitama -Paz del Río. 1984) dado a que cumple con todos los estándares para denominarse así.

Portadora de toda la secuencia calcárea de interés en la región; su edad es del Barremiano al Albiano superior <sup>1</sup>, según varios estudios realizados se ha podido dividir esta Formación en tres conjuntos bien definidos que afloran en la región estos conjuntos son:

*Conjunto Inferior:* Consta de 20 m de arcillolitas negruzcas y algunos niveles arenosos, seguidas de 40 m por bancos gruesos de areniscas con intercalaciones arcillosas, tiene un espesor que oscila entre los 60 m aunque presenta variabilidad debido a las condiciones estructurales de la zona, este conjunto lo encontramos entre el banco I y el miembro intermedio de la Formación Tibasosa (K<sub>1t</sub>) de esta serie se aprecian pocos afloramientos, ya que la mayor parte se encuentra cubierto por vegetación, botaderos y depósitos coluviales.

*Conjunto Medio:* Lo conforma la serie calcárea más importante de la formación está compuesto por diez bancos de caliza denominados A, B, C, D, E, F, G1, G2, H, I que alternan con arcillolitas y areniscas. Este conjunto medio tiene un espesor de 348.03 m

*Conjunto Superior:* Los 53 m superiores están conformados por intercalaciones de arenisca cuarcítica de grano fino a grueso, con coloraciones blanca a violeta, duras medio dura y arcillolitas laminares y liditas gris oscuras a negras. Que se limita por el banco A hasta la Formación Une (K<sub>1u</sub>)

## 2.2. GEOLOGIA LOCAL

Durante la etapa de exploración se realizaron actividades que sirvieron para obtener una información técnica detallada de los aspectos geológicos del área de estudio y el reconocimiento de los bancos de caliza aflorante que son de gran importancia para la empresa Central de Triturados Ltda.

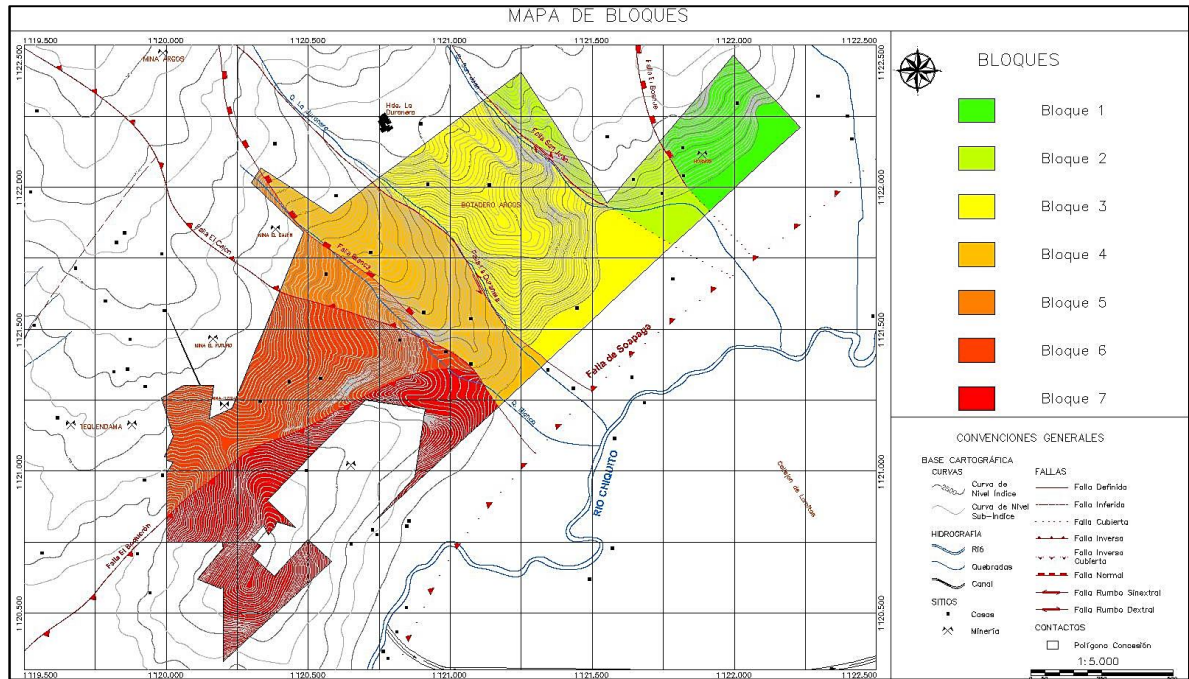
Para el estudio geológico, con base en el plano topográfico y la fotointerpretación se realizaron diferentes recorridos por el área de interés, identificando los bancos calcáreos presentes, al igual que las estructuras geológicas más importantes tales como las fallas y plegamientos generados por el sistema de fallas de la Falla de Soapaga.

---

<sup>1</sup> Geología de la Región de Duitama-Sogamoso-Paz de Río. (Departamento de Boyacá).



**Imagen 9: División del polígono en bloques, debido a la complejidad estructural que posee se repartió en 7 bloques limitados por fallas, iniciando desde el Noreste (NE) hasta el Suroeste (SW) respectivamente.**

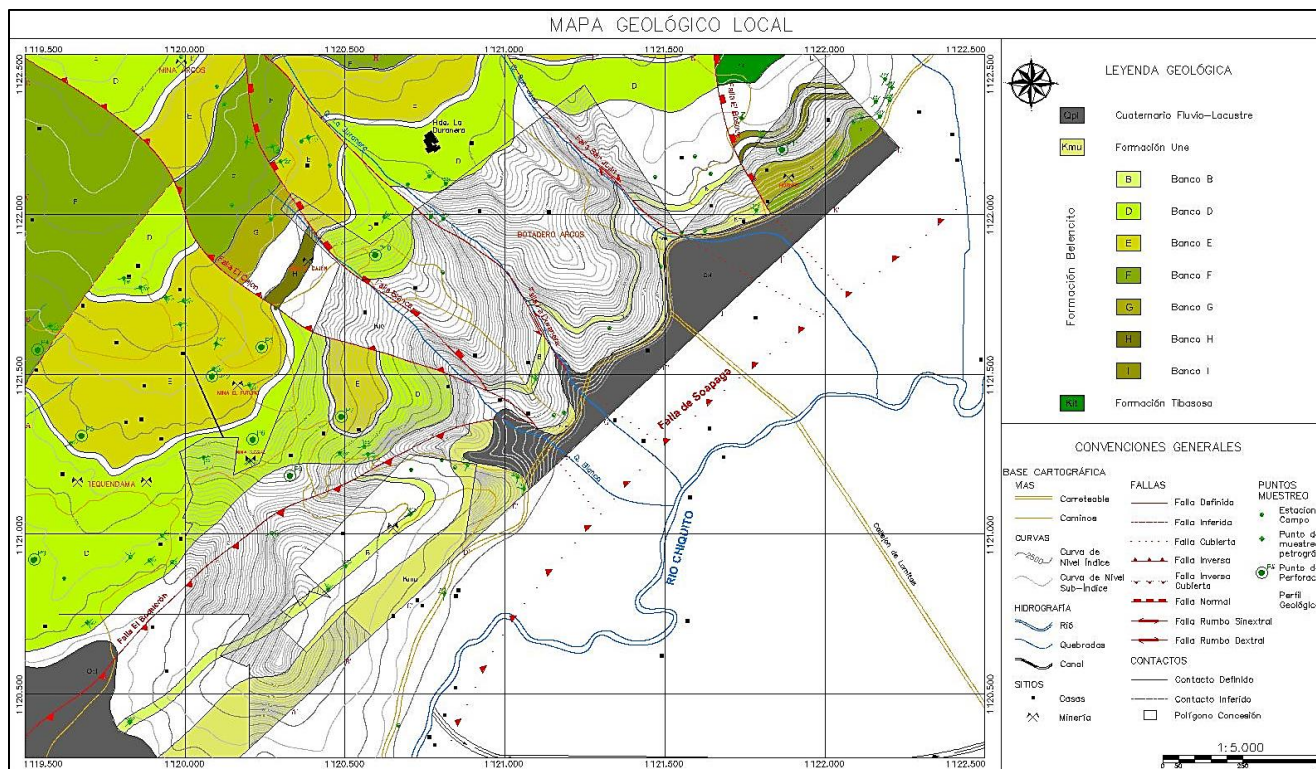


**Fuente: Autores.**

El miembro calcáreo superior de la Formación Tibasosa (Formación Belencito) en el sector Las Monjas del municipio de Firavitoba, Boyacá, reduce su espesor comparado con su sección tipo localizada al norte de Sogamoso, debido a los amplios procesos de tectonismo que han generado plegamientos y fallas de las rocas en este sector, no obstante, la descripción del modelo geológico se elaboró con cortes geológicos, contornos estructurales y la división en bloques limitados por fallas.

Al realizar la etapa de campo en la zona, se tomaron datos estructurales de las capas aflorantes, tanto de los bancos de caliza como de los estériles, se complementó con las perforaciones e imágenes satelitales, todo esto con el fin de conocer el comportamiento del fenómeno, puesto que el plegamiento, la erosión y fallamiento presente en la zona no tiene una continuidad de los bancos que se quieren concretar en el proyecto, de esta forma se adquirió la idea concreta de generar la cartografía geológica de una zona más extensa que el polígono de estudio.

**Imagen 10: Mapa geológico local**



**Fuente: Autores.**

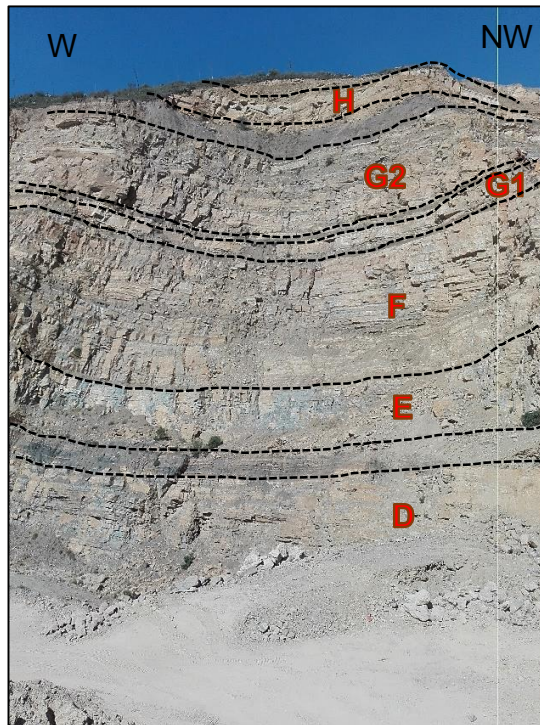
### 2.2.1. ESTRATIGRAFÍA LOCAL

En la zona de estudio solo afloran dos formaciones: Formación Tibasosa ( $K_{1t}$ ) y Formación Une ( $K_{1u}$ ), en donde el miembro calcáreo de la formación Tibasosa ( $K_{1b3t}$ ) se encuentra la columna completa desde base hasta techo explicando estratigráficamente cada una de las unidades de este miembro, y se evidencia un pequeño segmento de la Formación Une ( $K_{1u}$ ).

#### **Formación Belencito o miembro calcáreo superior de la Formación Tibasosa [ $K_{1b3t}$ ]:**

La formación está constituida en su parte superior por una secuencia de arcillolitas verdosas intercaladas con delgadas capas de arenisca de aproximadamente 30 metros de espesor continuando 80 metros de areniscas cuarcíticas. Suprayace la serie netamente calcárea más importante de esta formación o miembro constituida por una continua alternancia de 10 bancos de calizas: A, B, C, D, E, F, G1, G2, H, I, margas, arcillolitas calcáreas y areniscas; seguidos en el conjunto inferior por arcillolitas negruzcas fisibles y una zona arcillosa que separa la serie calcárea en dos conjuntos fácilmente reconocibles en la región por la topografía abrupta que ocasionan. (Ver anexo N°2)

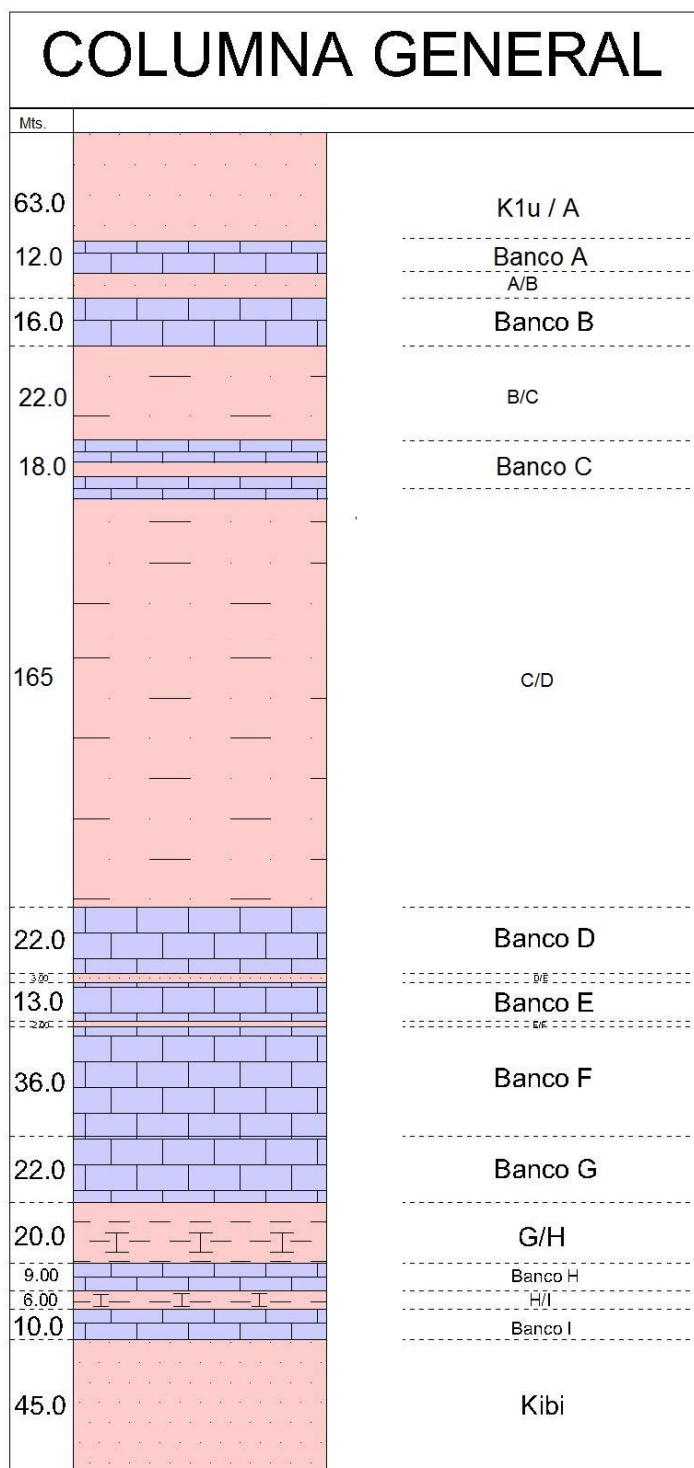
*Fotografía 5: Corte estratigráfico de la Formación Belencito, en la mina de Central de Triturados localizada en Nobsa – Boyacá, en esta zona la secuencia estratigráfica se encuentra invertida.*



**Fuente: Autores.**



**Imagen 11: Columna general de la Formación Belencito**



**Fuente: Autores.**

Cada banco consta de características estratigráficas y químicas, teniendo una variabilidad en cuanto a cada análisis químico (Ver tabla 5). De base a techo la formación Belencito (Kib) se compone de una serie de bancos de caliza e interbancos (estériles) ya estandarizados por la industria minera que ha estudiado esta zona desde hace décadas, partiendo de correlaciones estratigráficas y estructurales. Los bancos A y c no fueron perforados, ni encontrados debido a que se encuentran cubiertos por vegetación.

Las capas y bancos que afloran en el polígono de concesión y conforman esta formación de base a techo son:

### **Conjunto Inferior**

**Kibi:** Esta capa de aproximadamente 60 metros conformado por arenisca gris de grano fino, tiene una coloración gris con intercalaciones arcillolitas laminares oscuras a negras, este miembro contiene gran cantidad de  $\text{SiO}_3$ .

Estas capas de Kibi (llamado así por la industria minera del sector) tienen una tendencia de rumbo de N22E y un buzamiento en contra de la pendiente a 54NW, este inter banco de arenisca aflora en el Noreste (NE) del polígono, se encuentra en contacto con la Formación Tibasosa en la base y con el banco I en el techo, se desplaza por la intervención de una serie de fallas que modelan la geología, en especial de la falla El Bosque y Suescún.

***Fotografía 6: Afloramiento del miembro inferior sobre una vía terciaria, se observa la intercalación de arenisca de grano fino con arcillolitas laminares oscuras***



***Fuente: Autores.***

## **Conjunto Intermedio**

**Banco I:** Este es el primer banco de la Formación Belencito de base a techo, con un espesor de 9 metros, conformado por una caliza arenosa gris dura fosilífera con algunos lentes de arenisca calcárea amarillenta, este banco tiene  $\text{CaCO}_3$  muy bajo que oscila en entre 46 y 62%.

Este banco aflora en el bloque 1 del polígono con un rumbo N49E y un buzamiento de 17NW, se limita del banco H de por un interbanco de 30 metros de una arcillolita gris verdosa con intercalaciones de arenisca calcárea amarillenta y es conocido por su uso en la industria petrolera.

**Fotografía 7:** Afloramiento del banco I, se evidencian zonas kársticas en donde se preservaron Gasterópodos de la familia *Lymnaea Caperata*



**Fuente:** Autores.



**Banco H:** Este banco cuenta con un espesor de 9 metros y está conformado por gruesas capas de caliza cristalina Mudstone a Wackstone gris blancuzco con algunos segmentos de arenisca calcárea, cuenta con buenos porcentajes de  $\text{CaCO}_3$  que oscilan entre 52 a 74% pero también altos porcentajes de 18% de  $\text{SiO}_3$  que no permite usarse en la industria cementera.

Aflora en la mina El Cajón con un rumbo N52E y un buzamiento de 23NW, se limita de del banco G2 por 18 metros de arcillolita gris con capas negras y lutitas gris muy oscuras con algunos lentes de caliza con una capa guía de arcillolita en láminas rojiza violácea y se usa en triturados para cualquier tipo de obra debido a los porcentajes de  $\text{SiO}_3$ .

**Fotografía 8:** Afloramiento del banco H, en donde se observa la guía de arcillolitas laminadas rojizas violáceas en el techo de esta formación. Mina El Cajón



**Fuente:** Autores.

**Banco G:** Es un banco que se fracciona en dos; el G2 y G1 de base a techo, con un espesor de 7 metros y 13 metros respectivamente y 2 metros de una arenisca calcárea que los separa, el G2 es una caliza gris oscura fosilífera con vetas de calcita y óxidos de hierro y el G1 es una caliza Wackstone gris oscura intercalada con arenisca calcárea de color gris amarillento.

El banco G tiene porcentajes de  $\text{CaCO}_3$  de 64 a 73%. En el bloque 1 el banco aflora con un rumbo de N39E y un buzamiento de 29NW y aflora en el bloque 5 por fuera del polígono con un rumbo de N52E y un buzamiento de 34NW, la caliza se emplea en triturados.

*Fotografía 9: Núcleos de roca del banco G en la perforación 11, en donde es evidente la caliza oscura con vetas de calcita y el componente de arenisca calcárea*





**Banco F:** Este importante banco cuenta con un espesor que varía de 30 a 40 metros, conformado por la intercalación de caliza Wackstone a Packstone gris y niveles de margas fosilíferas (lumaquéllicas) que son arcillolitas calcáreas con gran cantidad de aloquimicos, los estratos de caliza alcanzan el 68% de  $\text{CaCO}_3$  mientras que en los estratos de arcillolita no alcanzan el 36%.

El banco F aflora en el bloque 1 con un rumbo de N36E y un buzamiento de 24NW, se limita del banco E por 2 metros de arcillolita arenosa calcárea oscura, es importante conocer este banco ya que la forma de los estratos ocasiona que en el método de explotación tienda a mezclar los estratos de caliza con las margas ocasionando pérdida en las calidades de los buenos bancos, aunque se usa en la industria cementera con la intervención de calizas correctoras.

*Fotografía 10: Afloramiento del banco F, donde es evidente la intercalación de estratos de caliza y arcillolita calcárea, con algunos estratos guías de lumaquelas como se observa en la fotografía.*



**Fuente: Autores**

**Fotografía 11: Aloquímicos encontrados en el banco F, demostrando un ambiente de depósito marino somero.**

*Porcentaje de aloquímicos de caliza lumaquéllica*



*Equinodermos Macraster elegans*



*Gasteropodo pateliforme*



*Fósiles de Exogyras Falabellata*



*Muestra de caliza lumaquéllica*



*Bivalvo trigonia*



**Fuente: Autores.**

**Banco E:** Este banco de caliza tiene un espesor de 13 metros compuesto por una caliza cristalina gris a gris oscura fosilífera muy dura con vetas de calcita en gruesas capas homogéneas que provocan una geomorfología abrupta, el porcentaje de  $\text{CaCO}_3$  promedio es del 86,33% y de  $\text{SiO}_2$  del 13%.

Los afloramientos de ese banco los encontramos en la parte Norte del polígono de trabajo con un rumbo de N76°E y un buzamiento de 34SE, se encuentra separado del banco D por 3 metros de arenisca arcillosa calcárea gris amarillento de grano fino a muy fino y se identifica por ser un banco muy potente empleado en la industria cementera.

*Fotografía 12: Afloramiento del banco E*




*Fuente: Autores*

*Fotografía 13: Núcleos de perforación banco E, se evidencia la caliza Wackstone en la base de este banco cementero*



*Fuente: Autores.*

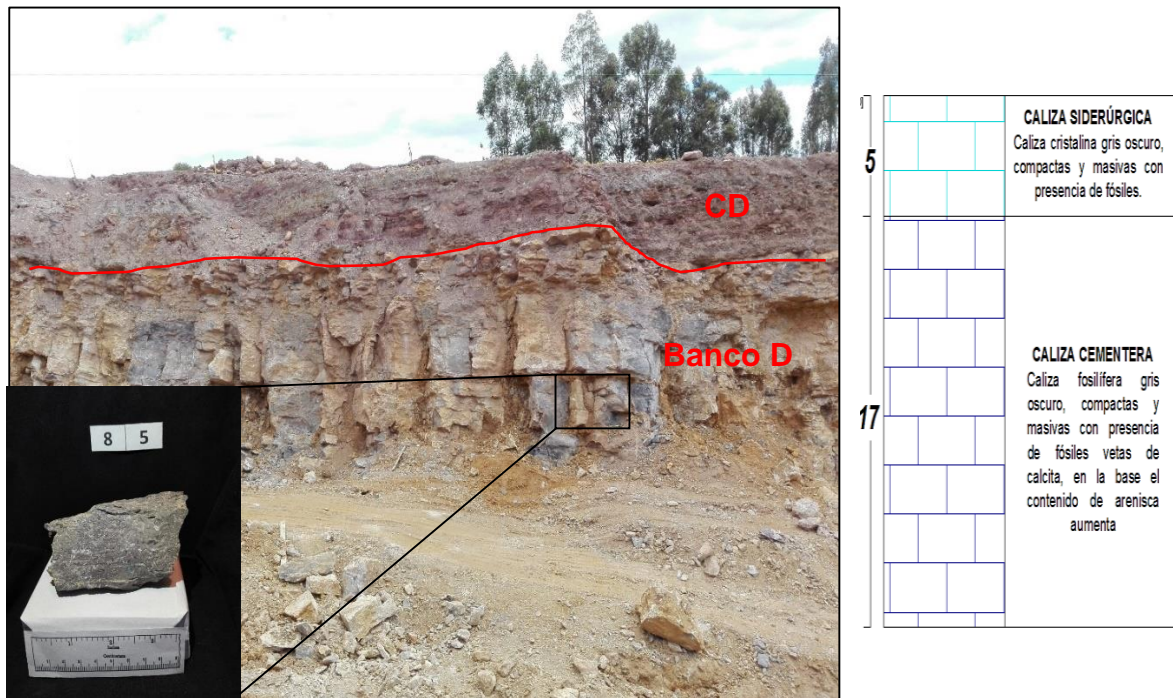


DESCRIPCION Y CLASIFICACION MACROSCOPICA DE ROCAS CARBONATADAS ORGANOGENAS									
					Nº Roca:		BANCO E		
SELECCIÓN:			Buena		METEORIZACION:		Baja		
PROCESO DIAGENETICO:			Compactación, cementación, disolución						
EMPAQUETAMIENTO:			Saturado		COLOR:		Gris claro homogéneo		
COMPONENTES		%	NOMBRE	%	TAMAÑO			Esfericidad /Redondez (Promedio)	
					Grv	Arn	Lod		
					>2mm	62µ - 2 mm	<62 µ		
CLASTOS	TERRIGENOS	5	Cuarzo		3	X	X		
			Min. Arcillosos		2			X	
	ALOQUIMICOS	29	NOMBRE		%	Grv	Arn	Lod	Reemplazamiento frecuente
			Lamelibranquios		13	X			Calcita esparítica
			Equinoideos		9	X	X		Calcita esparítica
			Exogyras flabellata		7	X	X		Calcita esparítica
CEMENTO		%	TIPO		OBSERVACIONES				
AUTIGENICOS	ORTOQUIMICOS	MICRITA	40	Relleno			Matriz micrita y esparitica		
		ESPARITA	26	Relleno					
	OTROS	-							
CLASIFICACIONES									
Folk, 1959 - 1962				Biomicrita					
Folk, 1959 modificado				Micrita fosilífera					
Dunham, 1962 modificado				Wackstone					
Dunham, 1962 mod. Embry y Klován 1972				Wackstone					
Relacion CLASTOS -CALCITA				1 - 10					


**Banco D:** Es uno de los bancos más importantes de la Formación Belencito consta de 22 metros de caliza dividido en dos fragmentos: de base a techo los primeros 17 metros son caliza cementera gris, fosilífera en capas muy delgadas de arcillolita gris correspondiente a una biomicrita, cuyos componentes aloquímicos son generalmente fragmentos de fósiles, con 84% de  $\text{CaCO}_3$  y los 5 metros superiores son de caliza siderúrgica Wackstone cristalina y con vetas de calcita hasta de 97% de  $\text{CaCO}_3$ .

Los estratos de este banco tienen un rumbo promedio de  $\text{N}80^\circ\text{E}$ , buzamiento promedio de  $24^\circ\text{SE}$ , se limita del banco C por un inter banco de espesor considerable de aproximadamente 120 m de intercalaciones de arenisca de grano fino color blanco con tonalidades pardas a café y láminas de arcillolitas gris fisible con una capa de arcillolita rojiza a negras con niveles concreciónales, esta capa es la guía del banco D en la zona, claro que presenta variación textural, pero es de fácil reconocimiento.

**Fotografía 14:** Afloramiento del banco D, donde es evidente el techo del banco con la capa de arcillolita rojiza que la limita, en donde hay concreciones de hasta 40 cm



**Fuente:** Autores.

DESCRIPCION Y CLASIFICACION MACROSCOPICA DE ROCAS CARBONATADAS ORGANOGENAS									
					Nº Roca:		BANCO D		
SELECCIÓN:			Media		METEORIZACION:		Baja		
PROCESO DIAGENETICO:			Compactación, cementación, disolución						
EMPAQUETAMIENTO:			Longitudinal		COLOR:		Gris oscuro		
COMPONENTES		%	NOMBRE	%	TAMAÑO			Esfericidad /Redondez (Promedio)	
					Grv	Arn	Lod		
					>2mm	62µ - 2 mm	<62 µ		
CLASTOS	TERRIGENOS	6	Cuarzo		4		X		
			Min. Arcillosos		2		X	X	
	ALOQUIMICOS	35	NOMBRE		%	Grv	Arn	Lod	Reemplazamiento frecuente
			Restos Fosiles		15		X		Calcita esparítica
			Gasterópodos		12	X	X		Calcita esparítica
			Lamelibranquios		4		X		Calcita esparítica
			Equinoideos		4	X	X		Calcita esparítica
CEMENTO		%	TIPO		OBSERVACIONES				
AUTIGENICOS	ORTOQUIMICOS	MICRITA	40	Relleno		Matriz micrita y esparitica, presentan vetas de calcita esparitica			
		ESPARITA	19	Relleno					
	OTROS		-						
CLASIFICACIONES									
Folk, 1959 - 1962				Biomicrita					
Folk, 1959 modificado				Micrita fosilífera					
Dunham, 1962 modificado				Wackstone					
Dunham, 1962 mod. Embry y Klován 1972				Wackstone					
Relacion CLASTOS -CALCITA				1 - 10					



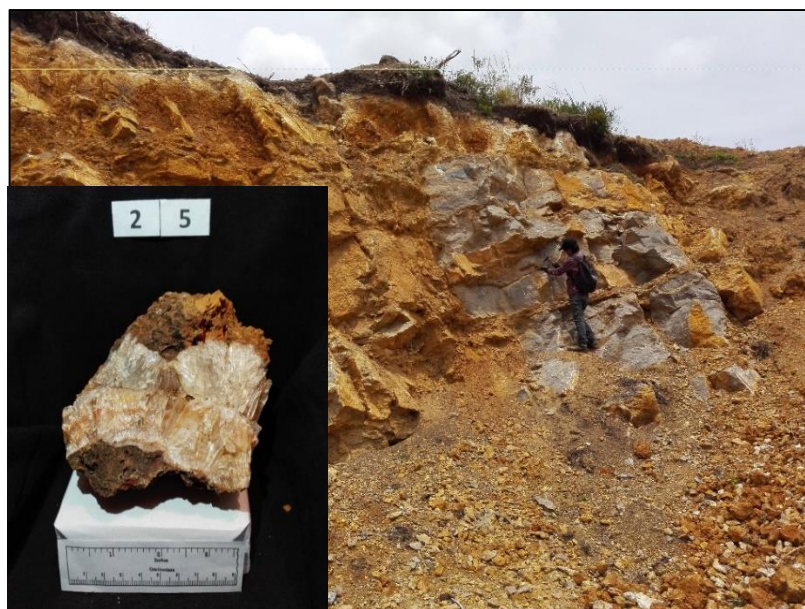
**Banco B:** Es el banco más importante de la formación Belencito con un espesor promedio de 13 a 14 metros constituido por caliza gris, fosilífera, con una intercalación de caliza gris oscuro biomicritica, los componentes aloquimicos son principalmente fragmentos de fósiles que en su mayoría están reemplazados por calcita esparitica, los constituyentes terrígenos son principalmente el cuarzo, pero solo llega a ser el 2% y un 96% de  $\text{CaCO}_3$  lo que la denomina como una caliza de alta calidad. La caliza de este banco ha sufrido procesos biogénicos en determinadas condiciones kársticas, formando capas de travertino, una roca compuesta por calcita, aragonito y limonita empleada en la industria ornamental, en esta capa se observan vetas de cristales de calcita de hasta 15 cm.

En el proyecto este banco aflora en el SW del polígono de evaluación en donde varía sus direcciones e inclinaciones gracias a la falla de Boquerón, la cual genera la inversión de este banco en la parte central del polígono, generando una condición de inclinación que provoca que el buzamiento de estas capas opte por estar en contra de la pendiente, pero la tendencia de las capas de este banco es tener un rumbo  $\text{N}62^\circ\text{E}$  y un buzamiento  $24^\circ\text{NW}$ .


Este banco se muestra en la zona de estudio como una franja cartografiable y limitada del banco A (cubierto) por una serie de intercalaciones de arenisca y arcillolita de 30 m de espesor y lo limita del banco C por 2 m de arcillolita de color rojizo.

No fue posible perforar este banco, pero se elaboró una columna estratigráfica de este banco, con el fin de detallar cada una de sus capas, ver anexo N°4.

**Fotografía 15: Afloramiento del banco B, presencia de cristales de calcita en vetas**



**Fuente: Autores.**

DESCRIPCIÓN Y CLASIFICACIÓN MACROSCÓPICA DE ROCAS CARBONATADAS ORGANÓGENAS									
					Nº Roca:		BANCO B		
SELECCIÓN:			Media		METEORIZACION:		Baja		
PROCESO DIAGENETICO:			Compactación, cementación, disolución						
EMPAQUETAMIENTO:			Saturado		COLOR:		Gris claro		
COMPONENTES		%	NOMBRE	%	TAMAÑO			Esfericidad /Redondez (Promedio)	
					Grv	Arn	Lod		
					>2m m	62μ - 2 mm	<62 μ		
CLASTOS	TERRIGENOS	4	Min. Arcillosos	3		X			
			Cuarzo	1		X			
	ALOQUIMICOS	16	NOMBRE	%	Grv	Arn	Lod	Reemplazamiento frecuente	
			Foraminíferos	14		X		Calcita esparítica	
			Gasterópodos	2		X		Calcita esparítica	
CEMENTO		%	TIPO		OBSERVACIONES				
AUTIGENICOS	ORTOQUIMICOS	MICRITA	55	Relleno		Matriz micritica			
		ESPARITA	15	Relleno					
	OTROS		-						
CLASIFICACIONES									
Folk, 1959 - 1962				Biomicrita					
Folk, 1959 modificado				Micrita fosilífera					
Dunham, 1962 modificado				Wackstone					
Dunham, 1962 mod. Embry y Klován 1972				Wackstone					
Relacion CLASTOS -CALCITA				1 - 10					





**Formación Une [K<sub>1u</sub>]:** Alcanza un espesor de 80 m aproximadamente en la zona y lo conforman intercalaciones de arenisca silíceea de grano fino a grueso, con presencia de minerales de moscovita y cuarzo con algunos óxidos de hierro, tiene una coloración blanca a violeta, se resiste al golpe con martillo; y arcillolitas laminares y liditas gris oscuras a negras (Ver anexo N° 5)., con estratificación cruzada, esta capa de notable arenisca aflora en todo el límite Sur este del polígono y se desplaza gracias a la intervención de una serie de fallas que modelan la geología.

Estas capas la formación Une tienen una tendencia de rumbo de N22E y un buzamiento que se clava (en contra de la pendiente) a 16NW, son capas que algunas han sido implementadas como recebo o material de trituración.

Las areniscas tendrán características lito estratigráficas que le ayudarán a descifrar los correspondientes techo y bases de las capas aflorantes ya que presenta calcos de carga que indican la dirección de depositación que estos estratos tuvieron, proporcionando una excelente guía en la estructura del fenómeno estructural presente.

*Fotografía 16: Afloramiento de Formación Une al costado derecho de la vía principal Sogamoso - Firavitoba, se observa la intercalación de estratos de arenisca con capas delgadas de arcillolita, estructuras de calcos de carga nos dan una interpretación de la dirección de depositación que estas capas tuvieron*



**Fuente: Autores.**

## Cuaternario

**Cuaternario Fluvioiacustre [Qpl]:** Este extenso depósito ubicado en el Valle de Sogamoso, comprende un espesor de gran magnitud en una planicie que posee este valle que se infiltra en el polígono sobre el costado izquierdo y en una franja sobre la vereda Diravita Llano, partiendo de un depósito de arcilla plástica gris con coloraciones amarillas con algunos niveles de arena, esta zona es utilizada en la industria agrícola como zona de cultivo.

*Fotografía 17: Depósito fluvioiacustre, desde mina Argos*



*Fuente: Autores*

*Fotografía 18: Depósito fluvioiacustre del valle de Iraka, desde la mina El Cajón*



*Fuente: Autores*

- **Cuaternario Coluvial [Qc]:** Son aquellos depósitos no consolidados, constituidos por acumulación de materiales de composición heterogénea y de tamaño variable (mal seleccionado) donde predominan bloques angulares en una matriz areno arcillosa rojiza. Estos depósitos se encuentran en zonas de ladera por la acción de procesos erosivos y gravitatorios. En el área de estudio estos depósitos se encuentran en la margen Noreste y pequeños movimientos evidenciados durante la visita de campo, están compuestos por bloques de roca desplazados de las formaciones Une y Tibasosa principalmente.

*Fotografía 19: Sección de un cuaternario coluvial al costado de la vía Sogamoso - Tibasosa*



*Fuente: Autores*

*Fotografía 20: Botaderos originados por la actividad minera y están constituido por material estéril*



*Fuente: Autores*



### 2.3. GEOLOGIA ESTRUCTURAL

El área de estudio se encuentra en la provincia tectónica de Cobertera plegada. Según REYES, Ítalo. Geología de la región Sogamoso-Duitama -Paz del Río. 1984.

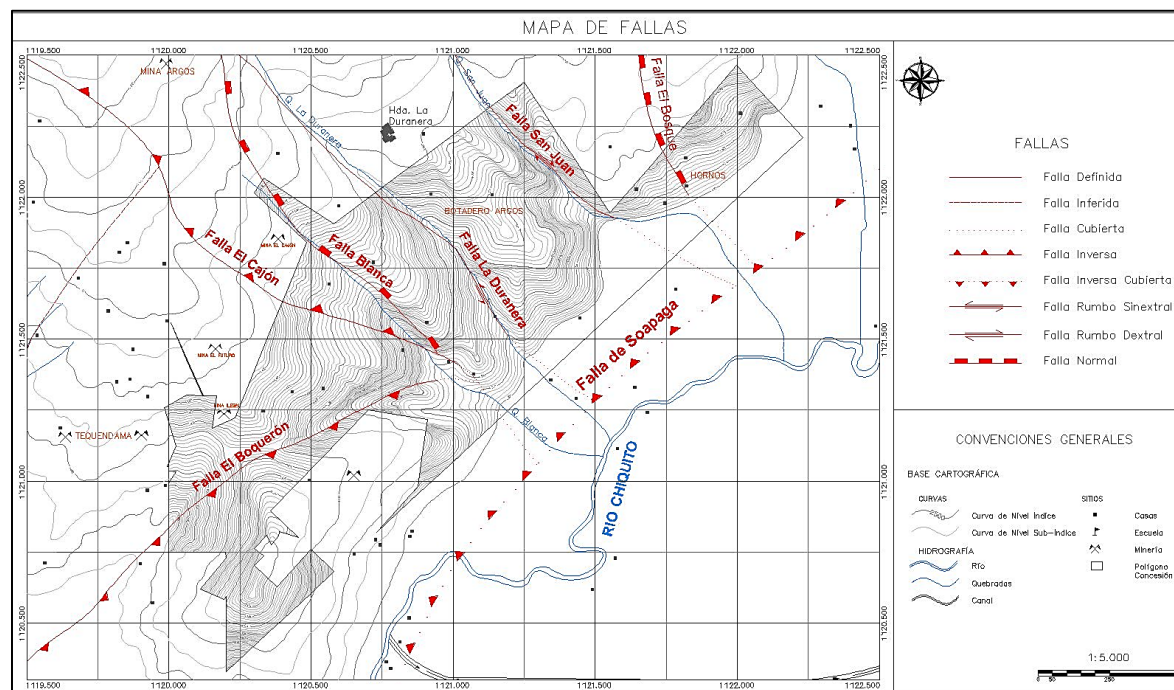
Corresponde a las rocas localizadas al oriente y occidente de la Falla de Soapaga, pertenecientes a la serie neo-cretácico-terciaria. La deformación de la serie sedimentaria es una combinación de pliegues y fallas, pero predominan los pliegues, con orientación SW-NE, la cual es la directriz tectónica normal de la cordillera en el Departamento de Boyacá obedeciendo a una serie de grandes eventos ocurridos durante el tiempo geológico y los cuales no entraremos a detallar.

Localmente, la zona posee notables efectos tectónicos, según el trabajo de campo se encuentra con la serie estratigráfica normal de la Formación Belencito a diferencia de las rocas aflorantes de esta misma formación en la región de Nobsa y Belencito en donde por la intervención de la Falla de Soapaga los estratos han quedado invertidos, no obstante dentro del polígono del proyecto se encuentran algunos bloques invertidos por acción de algunas fallas inversas y longitudinales debido a que los esfuerzos compresionales y gravitacionales que actuaron sobre las calizas y demás niveles calcáreos de la Formación Belencito y parte de las areniscas de la Formación Une, la presencia de estilolitos indica que la zona ha sido sometida a grandes presiones, estas estructuras forman parte del flanco invertido del gran anticlinal de Floresta-Tibasosa, a continuación, se hace descripción de las estructuras presentes en el área de estudio:

#### **Plegamientos**

**Sinclinal de Las Monjas:** Estructura local que afecta las rocas de la Formación Belencito; con dirección Este-Oeste, se localiza en las veredas de Monjas y La Carrera. Este tipo de disposición está asociado a una estructura más regional que se presenta entre los municipios de Firavitoba, Sogamoso y Tibasosa la cual se define como un anticlinal volcado erosionado.

**Imagen 12: Mapa de Fallas de la zona, se observan las seis fallas que atraviesan el polígono de estudio, siendo parte del sistema de fallas de la Falla de Soapaga dividiendo el área en siete bloques**



**Fuente: Autores.**

## Fallamientos

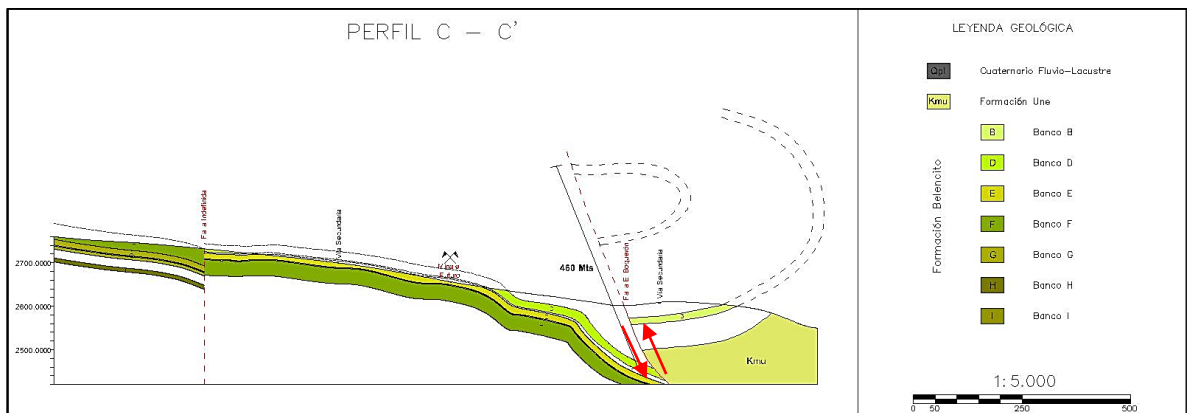
**Falla de Soapaga:** De tipo inverso y rumbo Noreste - Suroeste, alcanza los 2500m de desplazamiento y divide la región en dos provincias tectónicas: el Macizo de Floresta y la Cobertura plegada formada por la serie sedimentaria neo cretácico-terciaria.

Localmente los efectos de la falla se aprecian en la inversión de la secuencia calcárea que bordea el valle, y un intenso plegamiento y fracturamiento de las rocas; la principal estructura de plegamiento presente en la zona de estudio es el flanco sur oriental del anticlinal Sogamoso-Floresta, ubicado en forma paralela a la falla estructural de Soapaga, en el sector de La Carrera- Las Monjas.

En la zona de estudio la falla de Soapaga no alcanza a emerger, pero el sistema asociado a ella si aparece, modificando el modelado de las direcciones e inclinaciones de las capas calcáreas.

**Falla El Boquerón:** Es una falla transpresiva, con rumbo NE-SW en la parte izquierda pone en contacto la base del interbanco CD con su parte superior, tiene un desplazamiento de 460 metros, esta falla queda cubierta por el cuaternario fluvio-lacustre en la vereda Diravita Llano y sus esfuerzos se conectan con la falla de Soapaga en la vereda Las Monjas. La forma en que esta falla se evidencia es por fotointerpretación de las fotografías aéreas, el notable cambio morfológico y los cambios de buzamientos que se evidencian en los estratos del banco B hacia el Suroeste (SW) del polígono y el banco D al Oeste (W) del polígono. Y es el eje central que rompe el anticlinal volcado de la zona.

**Imagen 13:** Actividad de la falla El Boquerón, en el perfil C-C' donde se muestra el rompimiento de la estructura plegada



**Fuente:** Autores.

**Falla El Cajón:** Es una falla transpresiva la cual tiene forma de pronunciarse de acuerdo a la variación de los buzamientos de las capas, sufre un cambio en su dirección ya que tiene una tendencia Noreste (NE) hacia la parte superior del polígono y hacia el Noroeste (NW) en la parte inferior, no fue posible medir el desplazamiento en campo, pero mediante cortes se evaluó que tiene un desplazamiento aproximado de 180 metros, esta falla pertenece a sistema de fallas de Soapaga y sus esfuerzos se producen a partir de esta, es verificable con fotointerpretación y en campo de acuerdo a factores texturales y morfológicos

*Fotografía 21: Traza de falla El cajón*



*Fuente: Autores.*

**Falla Blanca:** Es una falla transtensiva que se desprende de la falla El Cajón en la parte inferior y se une a la Falla La Duranera en la mina de Argos por fuera del polígono de estudio, complementa una zona compleja ya que modifica rotundamente la geología de la zona, tiene un desplazamiento aproximado de 40 metros.

**Falla La Duranera:** Es una falla de rumbo sinextral asociada a la quebrada La Duranera, en la parte inferior pone en contacto el banco B con el banco A, teniendo un desplazamiento de 110 metros en horizontal y 15 metros en vertical, sobre la quebrada existen unos bloques del interbanco CD muy fracturados debido a la intervención del brechamiento que produce esta falla.

*Imagen 14: Trazo de la falla La Duranera*

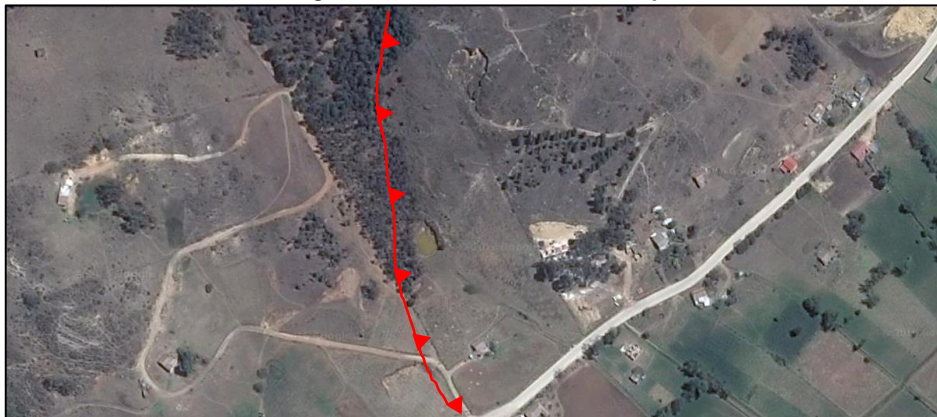


*Fuente: Autores.*

**Falla San Juan:** Es una falla de rumbo sinextral, la cual tiene una dirección dada por la quebrada San Juan que tiene una dirección NW-SE rompe con la continuidad de la formación Belencito, tiene un desplazamiento horizontal de 85 metros, esta falla tiene el mismo comportamiento que la falla La Duranera desplazando el bloque 3 también atraviesa el complejo minero de Argos

**Falla El Bosque:** Es una falla transpresiva, la cual se expone en el plano derecho del polígono de trabajo, esta falla se prolonga hasta la falla de Suescún en su margen superior y se une con la falla de Soapaga en su parte inferior, con un desplazamiento aproximado de 115 metros, tiene un rumbo Norte Sur al costado de la vía principal pero después se curva en la parte alta, provocando un cambio de dirección al Noreste Suroeste, desplazando en gran parte de los miembros superior e intermedio en la zona denominada Lomarrica, todo este sistema de este sector Noreste se conecta con las estructuras geológicas de las minas de Holcim.

*Fotografía 22: Trazo de la falla El Bosque*



*Fuente: Google Earth*



### 3. MODELO GEOLÓGICO DE LA ZONA DE ESTUDIO

En el cálculo de recursos para una concesión minera de caliza el método más indicado y preciso es ejecutar una campaña de perforación para conocer el comportamiento de los estratos rocosos en el macizo subterráneo, contando con una buena recuperación de núcleos y una cuidadosa descripción litológica y geotécnica (loggeo) para la posterior interpretación.

La empresa responsable del proyecto elaboró una campaña de perforación que constó de 12 perforaciones a lo largo de la zona, el equipo empleado fue el Boart Longyear 34 con motor Tanking con una tubería HQ acorazonada, el taladro de perforación funciona con un sistema mixto (mecánico e hidráulico) ofreciendo amplia información en cuanto al comportamiento estructural de la formación.

De la amplia campaña de perforación que se ejecutó para las concesiones de la empresa en la zona, cuatro de ellas se hicieron en el área del polígono de la concesión OG2 100-11 en las zonas en donde se mantenía mayor nivel de incertidumbre debido a la cobertura vegetal y a la limitada presencia de afloramientos, las perforaciones fueron las número 7,8,10 y 11; en donde, se perforaron 250,40 metros con un promedio de recuperación de 93,28%.

La información suministrada es de valiosa importancia ya que proporciona datos para correlacionar capas de interés y proporciona el conocimiento de la disposición de los estratos del subsuelo, para complementar la interpretación anterior es recomendable realizar registros de pozo porque ofrecen mejor distribución de las capas, además que la profundidad es más precisa y confiable, debido al tiempo y al factor económico tan limitados para el proyecto, no fue posible efectuar los registros de pozo, pero queda a recomendación para posteriores proyectos.

**Fotografía 23: Instalación del equipo perforador**



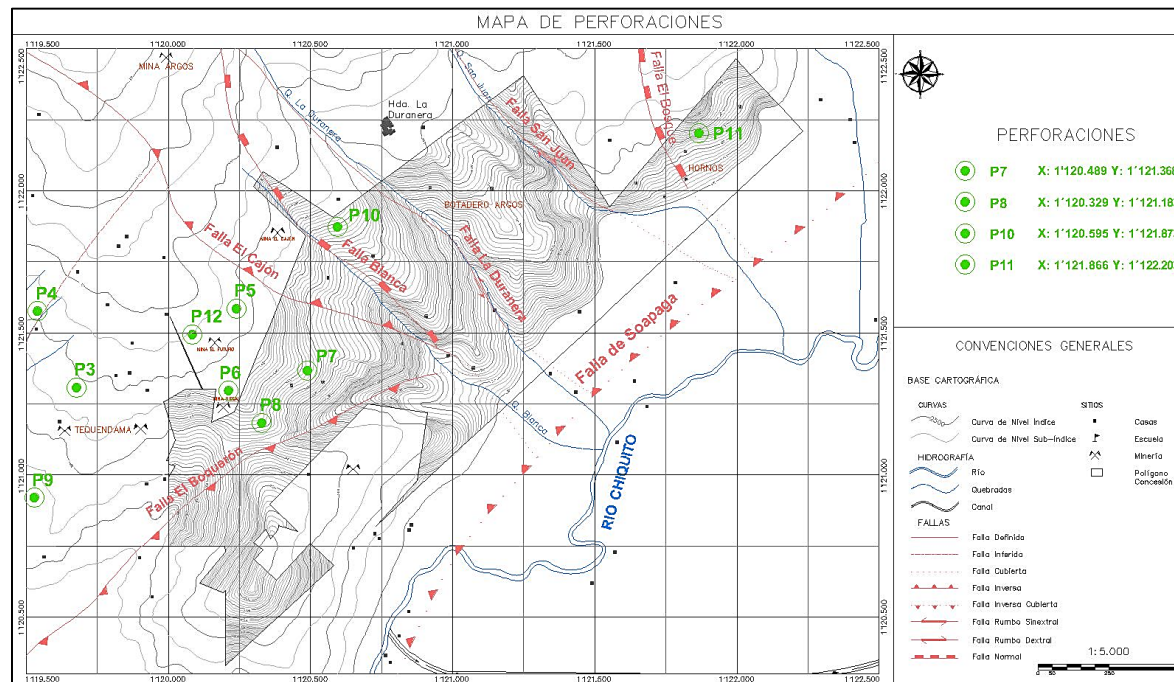
**Fuente: Autores.**

**Fotografía 24: Extracción de la muestra en el tubo Longyear HQ acorazonado con sistema mixto**



**Fuente: Autores.**

**Imagen 15: Mapa de perforaciones**



**Fuente: Autores**



**Tabla 2: Datos de las cuatro perforaciones realizadas dentro del área de concesión.**

PERFORACIÓN	P7	P8	P10	P11
<b>COORDENADAS</b>	N: 1 121 368 E: 1 120 489	N: 1 121 183 E: 1 120 328	N: 1 121 873 E: 1 120 595	N: 1 122 202 E: 1 121 865
<b>COTA</b> [m.s.n.m]	2594,2	2602,5	2596,4	2534,0
<b>INCLINACION</b> Ángulo con la horizontal	Vertical	Vertical	Vertical	Vertical
<b>AZIMUT</b> Grados	-	-	-	-
<b>PROFUNDIDAD ALCANZADA</b> [m]	70,00	92,70	38,20	49,50
<b>RECUPERACION</b> [%]	95,05	93,74	92,63	91,71
<b>OBSERVACIONES</b>	Atraviesa banco E, F y G1	Atraviesa banco D y E	Atraviesa banco D	Atraviesa banco G2, G1 y F

*Fuente: Autores.*

### 3.1. DESCRIPCIÓN DE MUESTRAS (LOGGEO)

La descripción de muestras es de gran importancia a la hora de realizar una interpretación de las secuencias litológicas en el subsuelo. El tamaño HQ (6.35 mm) es apropiado para este tipo de proyectos, ya que proporciona información necesaria para realizar el respectivo loggeo y los análisis químicos, en el caso que fuese un tamaño más reducido el soporte no alcanzaría a cumplir las expectativas de los parámetros a realizarse.

En la imagen 16 se presenta un formato de loggeo generado por los autores del proyecto con el fin de manejar la información proveniente del programa de exploración y así realizar la interpretación petrográficas y geotécnicas, haciendo una descripción detallada de cada una de las corridas de perforación, cabe resaltar que datos geotécnicos como el 'Rock Quality Designation' (RQD) y las características de las fracturas; y datos petrográficos como la meteorización y color se realizaron en el momento en que se sacaron las muestras ya que estos parámetros tienen variaciones al momento de almacenarse en las respectivas cajas.

**Imagen 16: Formato de loggeo geotécnico y litológico**

[illegible]

**Fuente: Autores**

## Espesor de un cuerpo geológico

En este caso en que el cuerpo geológico es tabular, se considera paralelos sus respaldos, el cálculo o la medida del espesor se facilita por la geometría que presentan. Conociendo así que el espesor real de un estrato es la distancia mínima entre sus respaldos y se mide por consiguiente en sentido perpendicular a estos.

La información reunida durante la fase de exploración, en puntos de medición generan el cálculo de los espesores reales o aparentes de acuerdo a las limitaciones del punto de medición, como el proyecto cuenta con núcleos de roca extraídos por perforaciones, hay varias situaciones geométricas que resultan de la relación entre la dirección de una perforación, el rumbo y el buzamiento del estrato y el espesor real.

El espesor real de un estrato en una perforación vertical es entonces:

$$e = (\text{Prof. B} - \text{Prof. A}) \cos \beta \implies e = L * \cos \beta$$

Donde:

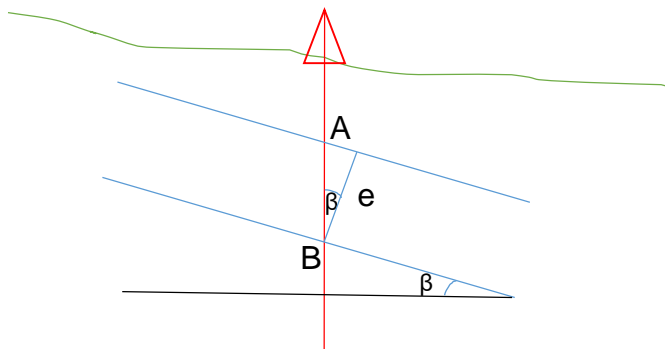
L es la diferencia de profundidad de los respaldos del estrato

B es el ángulo de inclinación real de las capas

## Inclinación de núcleos de roca

Para conocer la inclinación directa de los núcleos se deben generar las separaciones netas entre los bancos e interbancos de caliza y que estas separaciones sean planas y definidas. Para los planos de fallas o diaclasas, se deben medir superficies lisas producidas por recristalizaciones de la calcita.

El modo en que se midió la inclinación fue en colocar el núcleo sobre la libreta de campo y marcando con un lápiz el perfil del plano inclinado respecto al eje del mismo núcleo. Luego se traza la perpendicular a dicho eje y se mide el ángulo de inclinación respecto a esta directamente con un transportador para conocer el ángulo de inclinación.



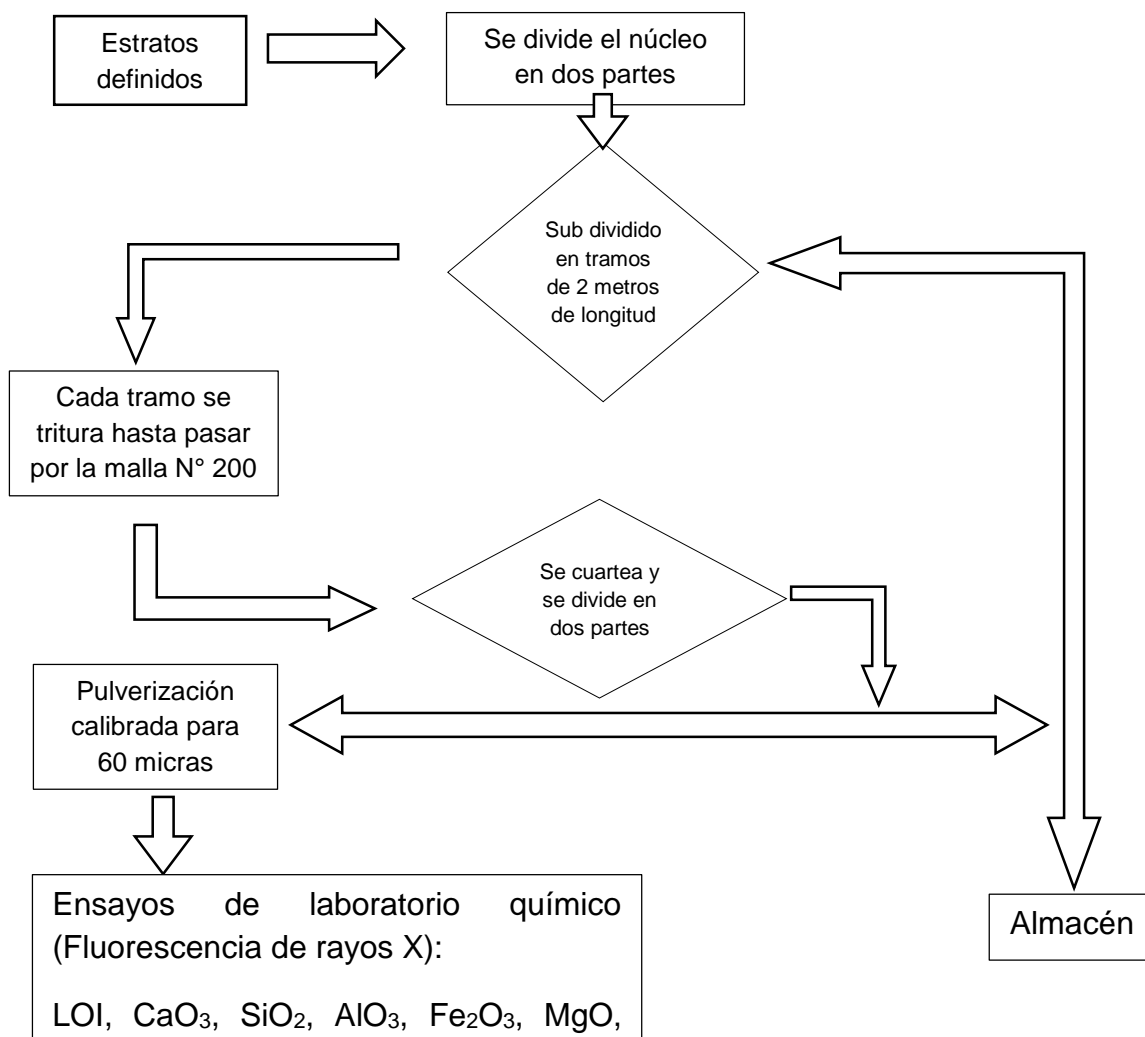
**Tabla 3: Corrección de espesores, tomada de los pozos 7, 8 y 11.**

	BANCO	COTA TECHO	COTA BASE	ESPESOR APARENTE [m]	$\beta$	ESPESOR REAL [m]
<b>POZO 8</b>	<b>D</b>	2569,5	2537,5	32,0	49,45	21,93
	<b>ESTERIL D/E</b>	2537,5	2526,6	10,9	76,2	2,6
	<b>E</b>	2526,6	2509,8	16,8	41,15	12,65
<b>POZO 7</b>	<b>ESTERIL E/F</b>	2583,2	2576,2	7,00	62,70	3,21
	<b>F</b>	2576,2	2538,2	38,0	21,31	35,40
	<b>G1</b>	2538,2	2525,2	13,0	19,68	12,24
<b>POZO 11</b>	<b>G1</b>	2507,2	2494	13,20	8,64	13,05
	<b>ESTERIL G1/G2</b>	2509,4	2507,2	2,2	27,01	1,96
	<b>G2</b>	2520,4	2509,4	11,0	49,8	7,1

**Fuente: Autores.**

La tabla 3, se realizó con el fin de correlacionar los espesores de las capas que atraviesan los pozos con los espesores de las capas que fueron cartografiadas en afloramientos, manteniendo una variación que no sobrepasa los valores dados en todos los datos, cabe resaltar que, aunque hay cambios longitudinales en alargamientos o pinchamientos de capas, estas no sufren mayor variación, a pesar de que el tectonismo está presente en todo el polígono.

**Tabla 4: Proceso desde la descripción de muestras hasta los resultados de los ensayos químicos.**



**Fuente: Autores.**

### 3.2. ANÁLISIS QUÍMICO

Con los núcleos obtenidos en las perforaciones para los bancos D, E, F, G1 y G2 y muestras de bloque tomados directamente de los afloramientos para los bancos B y H, se realizaron determinaciones cuantitativas de las características químicas de la caliza a través de pruebas químicas para conocer la calidad de los bancos, a partir de estos resultados hubo modificaciones en el modelo geológico, siendo de gran relevancia en el cálculo de recurso.

Los ensayos químicos se realizaron con el protocolo de muestreo estratigráfico sistemático, es decir, que se definieron las capas a evaluar, se tomaron muestras cada 2 metros (en la mayoría de casos) o como mejor se correspondiera dentro del rango entre 1 a 2,5 metros, estas se correlacionaban con otras debido a espesores estratigráficos, características petrográficas y patrones en los rangos en cuanto a los porcentajes de cada uno de los ensayos realizados permitiendo conocer de forma independiente las características particulares de cada muestra.

Los ensayos químicos se ejecutaron con un equipo de análisis de fluorescencia de rayos X con perla cuantitativa, los ensayos realizados a los corazones de roca y a los bloques fueron los siguientes: LOI, CaO, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, SO<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>O, Na<sub>2</sub>O, TiO<sub>2</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Mn<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Cl<sup>-</sup>, pero se exponen los valores que brindan información para la correlación.

Los valores promedio de cada banco son:

*Tabla 5: Valores promedio de los ensayos químicos más representativos de los bancos perforados.*

ENSAYOS	BANCO D	BANCO E	BANCO F	BANCO G1	BANCO G2
<b>CaO</b>	47,71	46,89	36,23	43,13	46,21
<b>SiO<sub>2</sub></b>	5,45	8,06	26,72	14,02	13,65
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	3,20	4,32	5,61	4,06	2,23
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	1,73	2,24	2,43	1,72	1,92
<b>MgO</b>	0,75	0,76	0,64	0,67	0,49
<b>SO<sub>3</sub></b>	0,70	0,29	0,26	0,12	0,11
<b>K<sub>2</sub>O</b>	0,56	0,78	1,13	0,09	0,36
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	0,07	0,02	0,09	0,11	0,12
<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	0,52	0,56	0,19	0,12	0,14

*Fuente: Laboratorio Químico*

**Tabla 6: Valores promedio de los ensayos químicos de los bloques de roca.**

ENSAYOS	BANCO B	BANCO H
CaO	54,72	37,50
SiO <sub>2</sub>	1,48	8,26
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,60	2,45

*Fuente: Laboratorio Químico.*

En algunos casos fue posible ejecutar muestras en cuerpos calcáreos que no precisamente son calizas, sino que cuentan con porcentajes considerables de CaO descifrados durante la descripción de muestras, esto se realizó con el fin de ver las variaciones entre los bancos de caliza y los interbancos (estéril), también se tuvo en cuenta procesos que dan lugar al relleno de discontinuidades con algún material que reduce la calidad de la muestra, estos rellenos se tomaron dentro del muestreo que se ejecutó, alterando de forma considerable los porcentajes de cada uno de los ensayos químicos.

Cada banco de la Formación Belencito tiene un conjunto de propiedades y de características físicas y químicas que de acuerdo a los valores que se obtengan, permite dar una clasificación informal, relacionada con su uso en algún propósito particular.

### **3.3. ANÁLISIS GEOESTADÍSTICO**

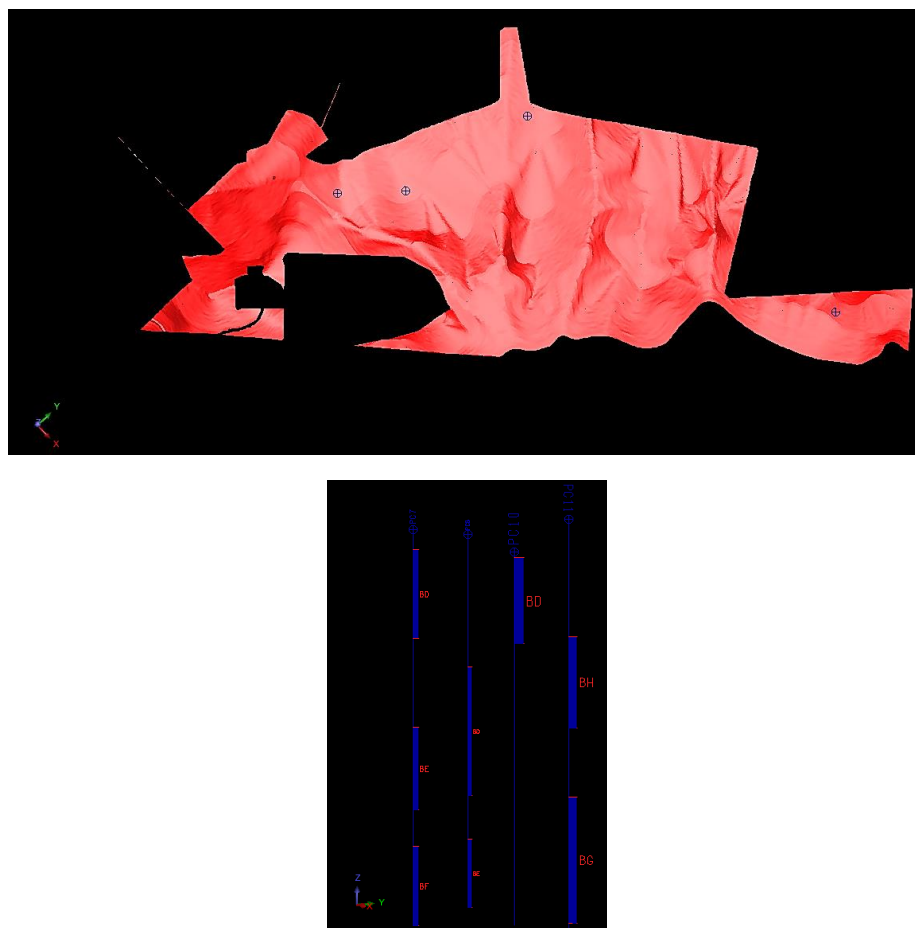
El análisis geoestadístico consta de relacionar los datos obtenidos en el muestreo para cuantificar la incertidumbre y especificar la forma en que ésta varía en el espacio-tiempo, por ser una zona con complejidades tectónicas y estructurales altas, lo primero es definir la correlación geológica de los bancos de caliza de interés a través de un modelo tridimensional de carácter discreto, en la medida en que permite disponer sólo de datos puntuales porque únicamente se modela la profundidad y el espesor de los bancos de caliza.

Para la determinación de la estadística descriptiva intervienen todos los conceptos dados a una variable aleatoria regionalizada la cual se le atribuye a la continuidad de los estratos de caliza, allí intervienen parámetros para conocer su variabilidad en los datos, como el soporte geométrico que se ejecuta con el muestreo estratigráfico de las perforaciones realizadas

Para este análisis se empleó el software GEOVIA Surpac 6.6.2. (x64), en donde se establecieron las bases de datos requeridas (collar, survey, mantos, geology y calidades) y se modelaron los pozos de acuerdo a la distribución que estos presentan.




**Imagen 17: Modelamiento de las cuatro perforaciones en el software GEOVIA Surpac 6.6.2. (x64)**



**Fuente: Autores.**

GEOVIA Surpac 6.6.2. (x64) permite realizar un completo diagnostico en cuando al modelamiento de los fenómenos geológicos partiendo desde bases de datos obtenidas delas perforaciones, puede generar variogramas de resultados y cálculo de reservas, pero requiere de mucha información dada durante el proceso de prospección geológica, aún más en la zona de polígono debido a su complejidad tectónica estructural, el proyecto no cuenta con esta información ya que las perforaciones y afloramientos son limitados, por tal razón se realizó una serie de perfiles geológicos cada 150 metros aproximadamente ajustados para atravesar las perforaciones perfiladas.

**Tabla 7: Variación estadística de los datos obtenidos de los ensayos químicos de SiO<sub>2</sub>, CaCO<sub>3</sub> y Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>**

<div>  <b>TABLE STATISTICS</b> <span>May 01, 2016</span> </div>			
Database : caliza			
Table : Calidades			
Parameter	SiO <sub>2</sub>	CaCO <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Reporting Criteria			
Minimum value	0.000	0.000	0.000
Maximum value	999.000	999.000	999.000
Cut Value	999.000	999.000	999.000
Normal Statistics			
Number of samples	69	69	69
Minimum	1.101	16.213	0.588
Maximum	61.792	95.127	31.929
Mean	15.033	68.396	7.558
Variance	159.573	415.163	32.067
Standard deviation	12.632	20.375	5.662
Skewness	1.591	-0.957	1.648
Kurtosis	5.436	2.998	6.762
Coefficient of variation	0.840	0.297	0.749
Log normal statistics			
Number of samples	69	69	69
Mean	2.373	4.161	1.744
Variance	0.757	0.160	0.653
Standard deviation	0.870	0.400	0.808
Skewness	-0.340	-1.672	-0.637
Kurtosis	2.948	5.189	3.718
Coefficient of variation	0.366	0.096	0.463

**Fuente: Autores.**

En la tabla 7 se expresa el modelamiento de los pozos en el software, en un bloque en donde la topografía se genera por triangulación de las curvas de nivel y su posterior modelo digital, se ingresaron los datos de los pozos de acuerdo a la descripción litológica, estratigráfica y su registro de calidades.

Las variables estadísticas se generaron a partir de los resultados de los ensayos de laboratorio químicos más representativos (CaCO<sub>3</sub>, SiO<sub>3</sub> y Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), los resultados nos muestran que un coeficiente de variación de 0,297 para el CaCO<sub>3</sub> indicando una concentración respecto a la media a diferencia de SiO<sub>2</sub> y Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> que tienden a 1, concluyendo que los datos son muy dispersos en estas dos variables.

#### 4. CÁLCULO DE RECURSOS

La caliza se emplea en el medio económico en diversas formas para sustentar alguna industria, sin embargo, en este proyecto la base primordial es cuantificar los recursos de caliza para la industria cementera, ya que sin esta evaluación no sería sustentable iniciar con los procesos de minería.

La cantidad del recurso de un yacimiento es el factor principal que determina la existencia y comportamiento geológico, con gran influencia en la vida útil del yacimiento y en su posterior estudio de reservas, que se define como el recurso identificado que económicamente es rentable su extracción. Para el cálculo de los recursos de caliza del área de estudio se evaluó a partir de investigación geológica, por medio de continuas observaciones directas, cartografía geológica y modelamiento de los afloramientos y perforaciones que se dieron en la parte de prospección.

Debido a que la zona tiene una complejidad tectónica y estructural se dividió en bloques para calcular los volúmenes de los bancos de interés del proyecto para posteriormente multiplicarla por su densidad para conocer el valor en toneladas.

Se tomó la clasificación sistemática y las categorías de los recursos, establecidas por el U.S.G.S. (1976. Wood et al, 1983) de acuerdo con la cantidad de la información geológica disponible y obtenidas con base en criterios de exploración, que contiene la siguiente terminología<sup>2</sup>:

**Recurso:** Concentración natural de materiales sólidos, líquidos o gaseosos en el interior o en la superficie de la corteza terrestre de tal forma que la explotación económica de un producto es o puede llegar a ser factible.

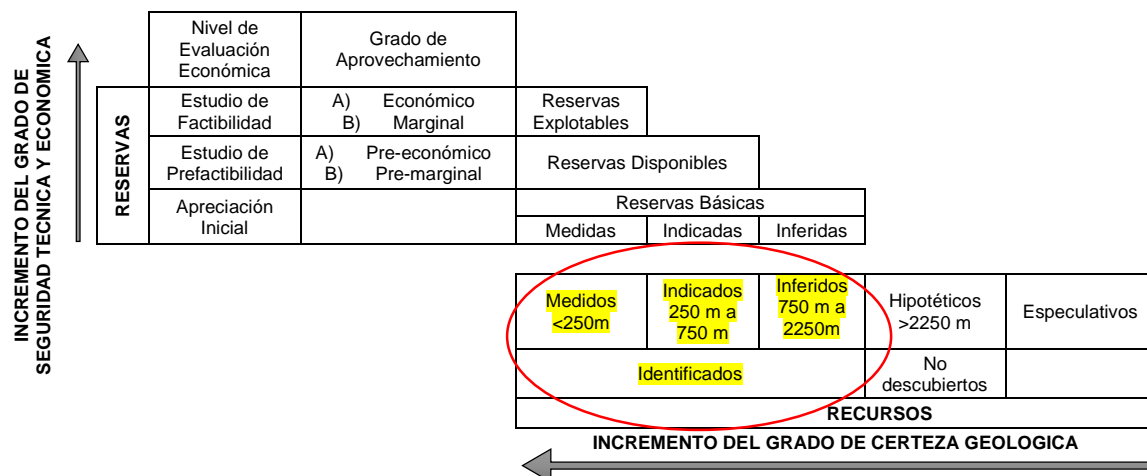
**Recursos identificados:** Son volúmenes específicos que contienen mineral, cuya ubicación, calidad y cantidad son conocidas por comprobaciones geológicas apoyadas en estimaciones técnicas respecto a la categoría demostrada.

**Reservas:** Son la porción de los recursos identificados de la cual puede extraerse económica y legalmente, en el omento de su determinación, un mineral o un producto energético utilizable. En el presente proyecto no se definirán reservas, ya que solo se evaluarán los parámetros geológicos los cuales se puntualizan como recursos de un yacimiento mineral estratiforme.

---

<sup>2</sup> WOOD 1983, Coal resource classification system of the U.S: Geological Survey, circular 981:1-65

**Tabla 8: Sistema de clasificación de recursos y reservas utilizada, donde se resalta los recursos que se evaluaron en el proyecto**



**Fuente: U.S.G.S. clasificación de recursos minerales**

Las categorías de medido, indicado e inferido de acuerdo a la literatura internacional (Hughes et. Al., 1989) se fijan las distancias entre puntos de medición en función de la complejidad estratigráfica y estructural de un área, la zona del proyecto se define como un área marcadamente deformada a intensamente deformada. A continuación, se definen los términos que categorizan los recursos de acuerdo a como se ajustan al fenómeno de la zona:

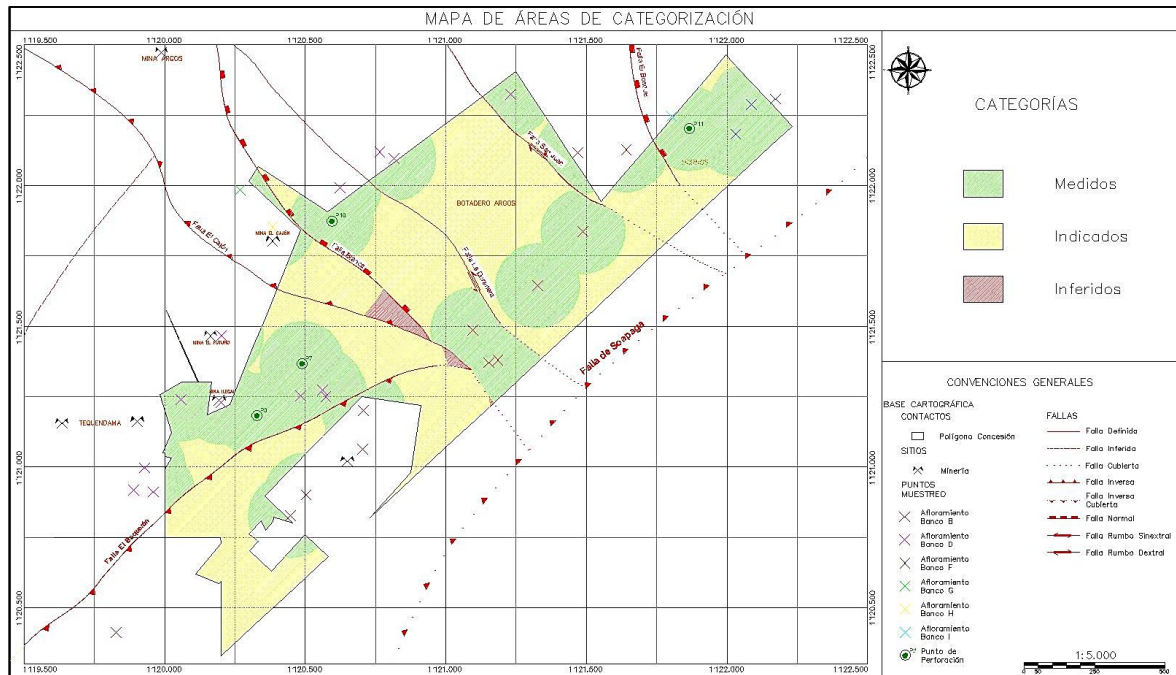
**Recursos medidos:** Los puntos de información difieren 300 metros, el uno del otro, esto equivale a que los puntos de información (control, perforaciones, afloramientos) tienen una influencia de 150 metros.

**Recursos indicados:** Los puntos de información difieren 900 metros, el uno del otro, esto equivale a que los puntos de información (control, perforaciones, afloramientos) tienen una influencia de 450 metros.

**Recursos inferidos:** Los puntos de información difieren 1350 metros, el uno del otro, esto equivale a que los puntos de información (control, perforaciones, afloramientos), esta categoría no aplica para este proyecto ya que se tienen suficientes puntos de información.

Se utilizó el método de la U.S.G.S modificado de REYES Ítalo en donde para cualquier yacimiento estratiforme se tienen las áreas planimetrías dadas por las líneas de contorno estructural, multiplicadas por el coseno del ángulo de buzamiento y el espesor de los bancos a calcular, para entender mejor el cálculo, se dividió el polígono en 7 bloques limitados por fallas, en donde por ayudas de cortes geológicos se comprendió el modelamiento de la zona.

Imagen 16: Mapa de categorización de los recursos



Fuente: Autores

En la imagen 19, se observa las áreas en donde se fijaron cada una de las categorías de los recursos, de color verde se encuentran los recursos medidos con un radio de 150 metros tomado desde el punto de medición; de color amarillo, los recursos indicados bajo un criterio de 450 metros de radio desde el punto de medición y una pequeña franja de recursos inferidos que abarca zonas sin bancos de caliza.

Cada superficie de cálculo debe ser sustentada por un punto de control o de medición realizado en las visitas de campo, donde se conocen las características del banco existente, como lo son espesor, la calidad química, la profundidad y el grado de tectonismo. La distancia entre cada uno de los puntos de control se estimó de acuerdo al tipo de material y la actividad tectónica del área, la cual es muy alta.

Para el cálculo de recursos por bancos en cada bloque, se realiza la siguiente ecuación:

$$t = \frac{a * e * d}{\cos \phi}$$

Dónde:

a= Área planimetría

e= espesor promedio del banco de caliza

d= Densidad [Ton/m<sup>3</sup>]

φ= Inclinación del banco



**Tabla 9: Calculo de Recursos.**

BLOQUE	BANCO	AREA	ESPEJOR	DENSIDAD	Ø	TONELADAS	CATEGORIA
1	F	14360.93	36	2.7	28	1586229.995	MEDIDOS
		2571.2	36	2.7	28	284000.7273	INDICADOS
	G	26235.72	22	2.7	29	1791266.4	MEDIDOS
		979.09	22	2.7	29	66848.21379	INDICADOS
	H	7221.18	9	2.7	24	192829.3121	MEDIDOS
		714.09	9	2.7	24	19068.55714	INDICADOS
	I	3715.24	10	2.7	17	105591.0316	MEDIDOS
		691.29	10	2.7	17	19647.18947	INDICADOS
2	B	2995.36	16	2.83	27	152393.15	MEDIDOS
	D	6361.18	22	2.81	19	418349.0932	MEDIDOS
3	B	7190.55	16	2.83	32	383044.8282	MEDIDOS
		4519.29	16	2.83	32	240745.2367	INDICADOS
	D	1515.34	22	2.81	35	114241.8522	MEDIDOS
		828.59	22	2.81	35	62467.6022	INDICADOS
4	B	8421.45	16	2.83	24	419036.5451	MEDIDOS
	D	33017.21	22	2.81	22	2194756.906	MEDIDOS
	E	5720.08	13	2.91	22	232678.0929	INDICADOS
5	H	1022.73	9	2.70	30	28565.9069	MEDIDOS
	G	2089.82	22	2.70	34	149560.612	MEDIDOS
6	D	110988.63	22	2.81	12	7001343.986	MEDIDOS
		52325.48	22	2.81	12	3300776.708	INDICADOS
	E	26500.97	13	2.91	35	1222599.628	MEDIDOS
		14764.93	13	2.91	35	681167.4413	INDICADOS
7	F	2184.74	16	2.83	32	116382.3849	MEDIDOS
		6819.41	16	2.83	32	363273.9821	INDICADOS

	MEDIDOS	INDICADOS
BANCO B	1070856.91	604019.219
BANCO D	9728691.84	3363244.31
BANCO E	1455277.72	681167.441
BANCO F	1586230	284000.727
BANCO G	1940827.01	66848.2138
BANCO H	221395.219	19068.5571
BANCO I	105591.032	19647.1895

**Fuente: Autores.**

## 5. CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA

La caracterización geomecánica de los macizos rocosos proporciona en forma característica y hace más confiable el pronóstico sobre el comportamiento del macizo rocoso, lo que disminuye la probabilidad de que se produzcan afectaciones de diferentes índoles que puedan atentar tanto la economía como la seguridad de las obras y los trabajadores que se encuentran en ellas.

La clasificación de macizo rocoso se efectuó con el fin de brindar un aporte en cuanto a los diseños de los taludes de acuerdo al método de explotación a utilizar, partiendo de parámetros geotécnicos evaluados a través de los parámetros que se pueden medir y establecer en campo, los cuales influyen en las características mecánicas de la roca intacta como de las características estructurales del macizo rocoso.<sup>3</sup> Esta clasificación se realizará en base a la clasificación propuesta por Bienawski que se basa en los parámetros de resistencia a la compresión simple, índice de calidad de la roca (RQD), naturaleza de las discontinuidades y el flujo de agua que se obtenga.

### Muestreo de especímenes de roca

La investigación se realizó en los macizos rocosos de los bancos representativos de la Formación Belencito y del proyecto (B, D y E) se encuentran en zonas de diferentes complejidades tectónicas. Las muestras de bloque y mano se extrajeron de los afloramientos de los 3 bancos de interés del proyecto antes nombrados.

*Fotografía 25: Extracción de las muestras de bloque y mano del afloramiento*



*Fuente: Autores*

*Fotografía 26: Perforación de los núcleos para los ensayos de rocas*



*Fuente: Autores*

---

<sup>3</sup> GONZALES VALLEJO, Luis. Ingeniería Geológica. Madrid: Prentice Hall, 2002 p.262

## Propiedades físico mecánicas de las rocas

La determinación de las propiedades físicas se basa, en el establecimiento de los pesos naturales, secos y saturados; y el volumen de probetas rocosas y/o minerales. En la tabla 10 se presentan los valores obtenidos de cada uno de los parámetros que definen las propiedades físicas de la roca.

La densidad es una magnitud escalar referida a la cantidad de masa contenida en un determinado volumen de una sustancia, la densidad se puede calcular de forma directa midiendo independientemente, la masa y el volumen de una muestra.

**Fotografía 27: cálculo de la masa de cada muestra**



**Fuente: Autores.**

**Fotografía 28: cálculo del volumen de cada muestra**



**Fuente: Autores.**

La porosidad relativa de los tres bancos es muy baja, esto debido a que en su estructura y textura las partículas cristalinas de la roca se encuentran saturadas, esto genera que la permeabilidad también sea muy baja.

**Fotografía 29: Extracción de humedad**



**Fuente: Autores.**

**Fotografía 30: Saturación de muestras**



**Fuente: Autores.**

**Tabla 10: Propiedades físicas de los bancos de interés**

<b>Propiedad</b>	<b>BANCO B</b>	<b>BANCO D</b>	<b>BANCO E</b>
Densidad ( $\rho$ ) [g/cm <sup>3</sup> ]	2,832577778	2,818555384	2,91142678
Humedad [%]	0,571%	0,256%	0,087%
Peso específico [KN/m <sup>3</sup> ]	26,36	26,45	26,60
Porosidad [%]	3,72	2,42	1,96

*Fuente: Autores.*

### **Ensayo uniaxial o de compresión simple**

Este ensayo permite determinar en el laboratorio la resistencia uniaxial no confinada de la roca, o resistencia a la compresión simple [ $\sigma_c$ ]. Es un ensayo para la clasificación de la roca por su resistencia. La relación entre los esfuerzos aplicados en el ensayo es:

$$\sigma_1 \neq 0; \sigma_2 = \sigma_3 = 0$$

En este ensayo se deben cumplir las siguientes condiciones:

- Razón Largo/Ancho de la probeta debe ser 2.5 a 3.0:1
- Extremos deben ser paralelos y pulidos, sin grietas.
- Ancho de muestra debe ser >10 veces el tamaño medio del grano.

El ensayo trata de la aplicación gradual de una fuerza axial a un cilindro de roca, hasta que se produce su rotura, los datos obtenidos son:  $\sigma_1$  obtenido del ensayo,  $\sigma_2$ ,  $\sigma_3$ . Con estos datos se puede obtener  $\sigma_c$  (resistencia a la compresión simple)

**Fotografía 31: Ensayo de compresión simple**



*Fuente: Autores*

**Tabla 11: Clasificación de macizo rocoso RMR Bienawski 1979**

<b>MUESTRA</b>		<b>BANCO B</b>	<b>BANCO D</b>	<b>BANCO E</b>
1. RQD (%)		77.9	78.1	81.6
2. Rc (MPa)		92.1	87.3	120.9
3. Espacio entre fracturas (m)		0,6 - 2	0,6 - 2	0,6 - 2
4. Estado de las discontinuidades	4.1. Longitud (m)	3 - 10	3 - 10	1 - 3
	4.2. Abertura (mm)	1 - 5	> 5	< 5
	4.3. Rugosidad	Ligeramente	Ondulada	Muy rugosa
	4.4. Relleno	RB < 5mm	RB < 5mm	RB < 5mm
	4.5. Alteraciones	LA	MA	LA
5. Agua subterránea		Seco	Ligeramente húmedo	Seco
6. Efecto de la orientación de las fracturas		Favorable	Favorable	Favorable
RMR		62	54	64
Clase		II	III	II
Clasificación		Buena	Media	Buena
Cohesión [Kg/cm <sup>2</sup> ]		3 - 4	2 - 3	3 - 4
Angulo de fricción [°]		35 - 45	25 - 35	35 - 45

**Fuente: Autores.**



## **ALCANCE Y LIMITACIONES**

Dado que el trabajo se hizo con la empresa Central De Triturados LTDA. Los resultados químicos de fluorescencia de rayos x no pueden ser publicados puesto que es información de tipo confidencial y por tanto en el documento solo se encuentran resultados promedios.

La falla indefinida trazada en las coordenadas aproximadas 1.119.959 E y 1.122.100 N, se le recomienda hacer un estudio posterior puesto que esta se encontraba fuera de la zona de estudio, pero presenta un fenómeno complejo.

## CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos permiten evidenciar el cumplimiento satisfactorio de los objetivos generales y específicos propuestos dentro del estudio realizado; lo anterior alineados por requerimientos hechos por la empresa Central de Triturados Ltda.

Las evaluaciones hechas sobre el contrato de concesión minera OG2 100-11 que cubre un área de 159,84 Hectáreas, evidencia 452 metros del miembro calcáreo superior de la formación Tibasosa ( $K_{1b3t}$ ) o Formación Belencito a nivel local, donde se comprobó la existencia de 8 bancos de caliza, no continuos debido al sistema de fallas de la región, la cual provoca una división geológica del área en bloques.

De acuerdo con la complejidad de la zona, los estudios petrográficos en muestras macroscópicas no indican un parámetro único para la caracterización de un banco, por tanto, fue necesario implementar correlaciones estratigráficas y estudios químicos de composición para definir cada uno de los bancos.

La cartografía geológica de la zona permite evidenciar el miembro calcáreo superior de la formación Tibasosa ( $K_{1b3t}$ ) o Formación Belencito a nivel local, en secuencia estratigráfica normal en los bloques 1, 5 y 6; y una secuencia invertida en los bloques 2, 3, 4 y 7 debido a que la zona de estudio está en una estructura de un anticlinal volcado erosionado, favorecido por la intervención de 6 fallas locales con un desplazamiento que oscila desde 40 metros hasta 460 metros.

Estructuralmente la complejidad es alta, porque se manifiestan estratos con dirección al Noreste (NE) y no se mantiene una tendencia en la inclinación de los bancos de caliza, varía al Noroeste (NW) y al Sureste (SE) provocando un régimen de micropliegues generados por esfuerzos compresivos a la Falla de Soapaga.

La corrección de espesores enfocada a las perforaciones, distingue entre las longitudes aparentes y las longitudes reales de los bancos atravesados, teniendo variaciones desde 5,85% en el banco G2 del pozo 11 hasta el 35% en el banco D del pozo 8, debido a la inclinación de las capas.

Con los estudios de composición química podemos caracterizar el Banco B con un porcentaje promedio de  $\text{CaCO}_3$  de 96%, el banco D de 84% y el banco E de 86%; siendo los bancos con mejores composiciones en cuanto a lo requiere la industria cementera, no obstante, el Banco F tiene estratos de calizas y margas de 68% de  $\text{CaCO}_3$ , en mezclas con calizas correctoras son también útiles en esta industria. Los bancos G, H e I presentan un porcentaje de 52 a 74% de  $\text{CaCO}_3$  pero su contenido de  $\text{SiO}_2$  supera el 12%, perjudicando su uso en la industria.

Las variables estadísticas se generaron a partir de los resultados de los ensayos de laboratorio químicos más representativos ( $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{SiO}_3$  y  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) en las cuatro perforaciones, los resultados nos muestran que un coeficiente de variación de 0,297 para el  $\text{CaCO}_3$  indicando una concentración respecto a la media a diferencia de

SiO<sub>2</sub> y Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> que tienden a 1, concluyendo que los datos son muy dispersos en estas dos variables. De acuerdo a este coeficiente de variación, la caliza muestreada presenta un comportamiento homogéneo con respecto al CaCO<sub>3</sub> y heterogéneo al SiO<sub>2</sub> y Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

La categorización de los recursos se generó a partir de la metodología de la U.S.G.S. modificado de REYES Ítalo donde los recursos medidos distan entre 150 metros entre cada punto de medición, los recursos indicados de 450 metros e inferidos no se calcularon porque el radio sobrepasa el área de concesión, estos criterios de áreas se ejecutaron de acuerdo a las características de la zona como marcada e intensamente deformada.

Se elaboró el cálculo de recursos de caliza por el método tradicional de bloques, porque las características geológicas de la zona no permiten su evaluación con otros métodos, en donde el Banco B consta de 1'070.856,9 Toneladas Medidas y 604.019,21 Toneladas Indicadas; el banco D con 9'728.691,83 Toneladas Medidas y 3'363.244,31 Toneladas Indicadas; y el banco E 1'455.277,72 Toneladas Medidas y 681.167,44 Toneladas Indicadas, siendo resultados productivos para la explotación.

El estudio geomecánico a los bancos B, D y E exponen que son macizos de caliza estable, teniendo en cuenta la clasificación de Bienawski (1989) expone un resultado con calidad de Buena, Media y Buena respectivamente para cada banco.

## RECOMENDACIONES

Seguir realizando estudios profundos en la concesión, como perforaciones, excavaciones y/o apiques en lugares de incertidumbre, ya que posee bancos de caliza importantes para el desarrollo minero, pero por el sistema de fallas asociada a la falla de Soapaga se interrumpe la continuidad.

En el momento del desarrollo de las labores mineras, se debe ser metódico en cuanto a las discontinuidades ya que los planos de discontinuidad y su comportamiento producen inestabilidad en los taludes, se recomienda tener bien definido la altura y el ángulo de los taludes.

En el momento de calcular reservas, tener en cuenta ámbitos ambientales, sociales, económicos y mineros, donde se especifique las eventuales consecuencias ocasionadas por las explotaciones mineras.

Es conveniente realizar muestreo de algunos interbancos que puedan tener porcentajes considerables de  $\text{CaCO}_3$  ya que con la ayuda de calizas correctoras pueden mezclarse y ser útiles en la industria cementera.

Se recomienda realizar nuevamente el loggeo de los núcleos rocosos, ya que la contra muestra cortada permite evidenciar características petrográficas que no se distinguían cuando estaban completas, no obstante, esta contra muestra no sirve para una descripción geotécnica ya que han sido alterados todos los parámetros que se requiere.

Sería importante y de gran ayuda realizar Registros de Pozo con el fin de conocer los espesores exactos de las capas del subsuelo, así se elaboraría un ajuste entre la descripción de muestras ligada a los registros de pozo.

En el momento de tener más información generada por los métodos de prospección del subsuelo recomendados, se puede emplear el software de modelamiento GEOVIA Surpac 6.6.2. (x64) para comprobar el comportamiento del fenómeno geológico, calcular variaciones y reservas de manera sistemática.

## BIBLIOGRAFÍA

ALVARADO, B.; SARMIENTO, R. (1944). Informe geológico sobre los yacimientos de hierro, carbón y caliza de la región de Paz de Río, Departamento de Boyacá. Servicio Geológico Nacional., Informe 468, inéd., 132 p. Bogotá.

BOART LONGYEAR (1996) Core Drilling Products. Rods and Casing, st 1

CALDERON OLMOS, Wilmar y MARIÑO MARTINEZ, Jorge Eliecer (1989) Evaluación Geológica del Banco B en la mina de caliza, análisis geotécnico para la explotación Bloque Chámeza – Belencito: Acerías Paz del Río, S.A.

DUNHAM, R. (1962). Classification of carbonate rocks according to depositional texture, In Ham, W. E. (Ed.). Classification of carbonate rocks –a symposium. Am. Ass. Pet. Geol., 1: 108-121

ECOCARBON, MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA (1995), El carbón, Normas generales sobre muestreo, recursos y reservas. Cap. 1 y 2.

EOT Firavitoba (2001 – 2003). Esquema de Ordenamiento Territorial, Alcaldía Municipal de Firavitoba Boyacá. 562 pág.

ETAYO SERNA, Fernando (1985) Proyecto Cretácico, tres artículos sobre el cretácico en Colombia: INGEOMINAS. 381 pág., 137 fig., 23 lam., 1 cdr.

FOLK, Robert L. (1962 – 1974), Calificación de texturas y rocas carbonáticas.

GONZALES VALLEJO (2002) Luis. Ingeniería Geológica. Madrid: Prentice Hall, p.262

HOLGUIN Omar y TORRES Mario (1987) Estudio geológico de materias primas para la fabricación de cemento en la mina de Cementos Boyacá, Municipio de Nobsa. T G50.87 H731 ej.1

INGEOMINAS (1987), Recursos minerales de Colombia, Publicaciones Geológicas Especiales, segunda edición, tomo 1, Bogotá.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS (2013). Normas colombianas para la presentación de trabajos de investigación. Santafé de Bogotá D.C. ICONTEC. NTC 1486. 98 p

RENZONI, G. (1981). Geología del cuadrángulo J-12 Tunja. Ingeominas, Bol. Geol., 24(2):31 - 48, (escrito en 1967). Bogotá.

REYES CH, Ítalo (1974) Estudio petrográfico de la caliza del banco B: Acerías Paz del Río S.A., 12 pág., 5 fig.



- (1983). El yacimiento de caliza de Duitama, concesión 6596: Acerías Paz del Río S.A.
- (1984). Geología de la región de Duitama – Sogamoso – Paz de Río (Dpto. de Boyacá): U.P.T.C., Sogamoso. 106 págs., 20 fig.
- (1989). Informe preliminar sobre el resultado de las perforaciones – Licencia 6596: Duitama, Acerías Paz del Río, S.A.
- (1989). Resultado de la prospección en el yacimiento de caliza de San Antonio (Municipio de Duitama): Acerías paz del Río, S.A.
- (1998). Estratimetría aplicada, 1ra edición, junio de 1998. Editorial UPTC-Tunja - Colombia

RIOS Iván y RODRIGUEZ María, (2009) Evaluación geológica y caracterización de la roca fosfórica presente en el área de contrato de concesión JAL- 0800018, ubicado en la vereda Mortiñal, Municipio de Sogamoso T G50.09 R586 ej. 1

ULLOA, C. y RODRÍGUEZ, E. (1973). Mapa Geológico de la Plancha 172, Paz de Río, INGEOMINAS, inédito, Bogotá.

WOOD, Et (1983). U.S. Geological Survey. Bureau of Mines coal resource classification system, USA.

VALENTINO, María Teresa (1997), Informe sobre muestras de corazón de la caliza del yacimiento de San Antonio: Acerías Paz del Río, S.A.